



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

“Análisis de la precipitación y los índices de teleconexión ENOS
para la evaluación hidrológica de la presa Rontoccocha, Abancay –
2021”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Civil

AUTOR:

Maldonado Mendívil, Ángel

<https://orcid.org/0000-0001-9002-1910>

ASESOR:

Mg. Villegas Martínez, Carlos Alberto

<https://orcid.org/0000-0002-49268556>

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de obras hidráulicas y saneamiento

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis queridos padres Ángel y Delia por su cariño y ejemplo de lucha y superación constante con todos sus hijos del cual estoy eternamente agradecido.

A mis hermanos Silvia y José Carlos por su apoyo moral, cariño y desprendimiento incondicional hacia mi persona.

A Rosmery Bravo Donaires mi esposa y compañera de toda la vida por su amor, comprensión y su apoyo incondicional.

A mis hijos Angelia y Ángel Luis quienes hoy representan el impulso para seguir mejorando cada día.

Y a mi querido abuelo Daniel Mendívil Pozo por el afecto y generosidad con sus nietos y que ahora nos guías desde el cielo.

Agradecimiento

A mi asesor el Mg. Ing. Carlos Alberto Villegas Martínez por sus conocimientos, por su aporte y por su gran predisposición y apoyo continuo en la elaboración de este trabajo de investigación.

A todos los amigos que han hecho posible realizar este trabajo y que la lista sería muy larga sin embargo ellos saben del agradecimiento profundo que les tengo.

Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas	vi
Índice de figuras.....	viii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos:	4
Hipótesis	4
II. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Antecedentes	6
2.2 Bases teóricas.....	18
III. METODOLOGÍA	45
3.1 Tipo y Diseño de la Investigación	45
3.2 Variables y operacionalización	45
3.3 Población, Muestra y Muestreo.....	46
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	48
3.5 Procedimientos.....	48
3.6 Métodos de análisis de datos.....	49
3.7 Aspectos éticos.....	50
IV. RESULTADOS.....	56
4.1 Análisis de los índices de teleconexión	56
4.1.2 Índice Costero El Niño ICEN	56
4.1.1 Índice Oceánico de El Niño ONI	57
4.2 Análisis de la precipitación registrada.....	58
4.2.1 Datos de precipitación en el Ámbito de estudio.....	61
4.2.2 Análisis de los datos.....	67

4.3 Relación entre índices de teleconexión y la precipitación mensual.....	97
4.3.1 Relación entre el Índice Oceánico de El Niño (ONI) y la precipitación para cada estación a escala multianual.	98
4.3.2 Relación entre el Índice Oceánico de El Niño (ONI) y la precipitación mensualizada para cada estación.	104
4.3.3 Relación entre el Índice Costero El Niño (ICEN) y la precipitación para cada estación a escala multianual.	114
4.3.4 Relación entre el Índice Oceánico de El Niño (ICEN) y la precipitación mensualizada para cada estación.	120
4.4 Completación y generación de series incompletas.	132
4.4.1 Análisis y tratamiento de datos de las series históricas.....	135
4.4.2 Completación y extensión de datos de las series históricas.....	137
4.4.3 Análisis de datos de las series históricas completadas y extendidas	141
4.4.4 Generación de datos de precipitación en el ámbito del proyecto.	148
4.5 Evaluación de los volúmenes generados para el sistema Rontoccocha	152
4.5.1 Análisis estadístico y cartográfico de la zona de estudio.	152
4.5.2 Aplicación de modelos determinísticos	153
4.5.3 Generación de caudales para un periodo extendido.	161
4.5.4 Evaluación de volúmenes generados en el sistema Rontoccocha.....	171
V. DISCUSIÓN	186
VI. CONCLUSIONES	188
VII. RECOMENDACIONES	190
REFERENCIAS.....	191
ANEXOS	198

Índice de tablas

Tabla 1. Coordenadas geográficas de las regiones del ENOS.....	18
Tabla 2. Categorías de las anomalías según ICEN.....	23
Tabla 3. Categorías de las anomalías según ONI.....	25
Tabla 4. Indicadores del índice ICEN.....	25
Tabla 5. Indicadores del índice ONI.....	26
Tabla 6. Grado de correlación Pearson.....	36
Tabla 7. Cuadro de operacionalización de variables	47
Tabla 8. Estaciones meteorológicas ubicados en la región Apurímac.....	59
Tabla 9. Periodos de datos disponibles recopilados.	60
Tabla 10. Disponibilidad de datos por Estación	60
Tabla 11. Análisis ANOVA para los grupos de comportamiento según ONI	97
Tabla 12. Análisis ANOVA para los grupos de comportamiento según ICEN	97
Tabla 13. Coeficiente de correlación Pearson según ONI	98
Tabla 14. Coeficiente de correlación Pearson según ICEN.....	114
Tabla 15. Análisis de consistencia y homogeneidad	135
Tabla 16. Análisis de consistencia y homogeneidad	135
Tabla 17. Análisis de consistencia y homogeneidad	136
Tabla 18. Promedio multianual de las estaciones completadas	140
Tabla 19. Relación precipitación altura para las estaciones	146
Tabla 20. Factores de corrección para las estaciones fictas de estudio	148
Tabla 21. Precipitaciones promedio en las estaciones fictas.....	148
Tabla 22. Precipitación en la estación areal Rontoccocha [mm].	149
Tabla 23. Precipitación en la estación areal Alfalaccocha [mm]	150
Tabla 24. Precipitación en la estación areal Allccoccocha [mm].....	151
Tabla 25. Cuadro de las características geomorfológicas.	153
Tabla 26. Cuadro de temperatura máxima media mensual	154
Tabla 27. Cuadro de temperatura mínima media mensual	154

Tabla 28. Cuadro de temperatura media mensual.....	155
Tabla 29. Cuadro de la velocidad media mensual.....	155
Tabla 30. Número de horas de sol media mensual.	155
Tabla 31. Cálculo de la evapotranspiración por el método de Hargreaves	156
Tabla 32. Coeficiente de escurrimiento en la zona de estudio	157
Tabla 33. Determinación de la retención para la laguna Rontoccocha	157
Tabla 34. Determinación de la retención para la laguna Alfallaccocha.....	158
Tabla 35. Determinación de la retención para la laguna Alccoccocha	158
Tabla 36. Características generales de las cuencas de estudio	159
Tabla 37. Caudales del año promedio para la laguna Rontoccocha	159
Tabla 38. Caudales del año promedio para la laguna Alfallaccocha	160
Tabla 39. Caudales del año promedio para la laguna Alccoccocha	160
Tabla 40. Relación entre la precipitación efectiva y los caudales	161
Tabla 41. Resultados de regresión lineal múltiple (Rontoccocha)	161
Tabla 42. Caudales generados en la estación areal Rontoccocha [m ³ /seg].....	163
Tabla 43. Caudales generados en la estación areal Alfallaccocha [m ³ /seg].	164
Tabla 44. Caudales generados en la estación areal Alccoccocha [m ³ /seg].	165
Tabla 45. Percentiles de caudales [m ³ /seg] y volúmenes [MM ³] Rontoccocha	166
Tabla 46. Percentiles de caudales [m ³ /seg] y volúmenes [MM ³] Alfallaccocha	168
Tabla 47. Percentiles de caudales [m ³ /seg] y volúmenes [MM ³] Alccoccocha	169
Tabla 48. Volúmenes generados en la estación areal Rontoccocha [MM ³].....	172
Tabla 49. Volúmenes generados en la estación areal Alfallaccocha [MM ³].	173
Tabla 50. Volúmenes generados en la estación areal Alccoccocha [MM ³].....	174
Tabla 51. Volumen promedio disponible y Volumen promedio almacenado	181
Tabla 52. Indicadores de performance del sistema de Almacenamiento.....	182
Tabla 53. Caudales medios mensuales a ser operados en compuerta.	183

Índice de figuras

Figura 1: Regiones de medición de la temperatura superficial del mar.	19
Figura 2. Anomalías de la temperatura superficial del mar (°C).	21
Figura 3. Índice ICEN asociados a la variabilidad climática	22
Figura 4. Índices E y C de Takahashi et al. (2014)	22
Figura 5. Índice ONI asociados a la variabilidad climática	24
Figura 6. Metodología desarrollada para el objetivo específico 1.	51
Figura 7. Metodología desarrollada para el objetivo específico 2.	52
Figura 8. Metodología desarrollada para el objetivo específico 3.	53
Figura 9. Metodología desarrollada para el objetivo específico 4 (Generación de caudales).	54
Figura 10. Metodología desarrollada para el objetivo específico 4. (Evaluación de embalse).	55
Figura 11. Distribución del Índice Costero El Niño – ICEN.	56
Figura 12. Distribución del Índice Oceánico de El Niño - ONI.	57
Figura 13. Ubicación del ámbito de estudio.	58
Figura 14. Ubicación de las estaciones pluviométricas.	59
Figura 15. Precipitación acumulada mensual de la estación Abancay I.	61
Figura 16. Precipitación acumulada mensual de la estación Abancay II.	62
Figura 17. Precipitación acumulada mensual de la estación Andahuaylas.	62
Figura 18. Precipitación acumulada mensual de la estación Antabamba.	63
Figura 19. Precipitación acumulada mensual de la estación Chalhuanca I.....	64
Figura 20. Precipitación acumulada mensual de la estación Chalhuanca II.....	64
Figura 21. Precipitación acumulada mensual de la estación Curahuasi.	65
Figura 22. Precipitación acumulada mensual de la estación Curpahuasi.	66
Figura 23. Precipitación acumulada mensual de la estación Tambobamba.	66
Figura 24. Grupos de precipitación según ONI en la estación Abancay I.....	67
Figura 25. Grupos de precipitación según ONI en la estación Abancay II.....	68
Figura 26. Grupos de precipitación según ONI en la estación Andahuaylas.....	68
Figura 27. Grupos de precipitación según ONI en la estación Antabamba.....	69

Figura 28. Grupos de precipitación según ONI en la estación Chalhuanca I.	69
Figura 29. Grupos de precipitación según ONI en la estación Chalhuanca II.	70
Figura 30. Grupos de precipitación según ONI de la estación Curahuasi.	70
Figura 31. Grupos de precipitación según ONI de la estación Curpahuasi.	71
Figura 32. Grupos de precipitación según ONI de la estación Tambobamba.	71
Figura 33. Grupos de precipitación mensualizado según ONI (Abancay I).	73
Figura 34. Grupos de precipitación mensualizado según ONI (Abancay II).	74
Figura 35. Grupos de precipitación mensualizado según ONI (Andahuaylas).	75
Figura 36. Grupos de precipitación mensualizado según ONI (Antabamba).	76
Figura 37. Grupos de precipitación mensualizado según ONI (Chalhuanca I).	77
Figura 38. Grupos de precipitación mensualizado según ONI (Chalhuanca II).	78
Figura 39. Grupos de precipitación mensualizado según ONI (Curahuasi).	79
Figura 40. Grupos de precipitación mensualizado según ONI (Curpahuasi).	80
Figura 41. Grupos de precipitación mensualizado según ONI (Tambobamba).	81
Figura 42. Grupos de precipitación según ICEN en la estación Abancay I.	82
Figura 43. Grupos de precipitación según ICEN en la estación Abancay II.	83
Figura 44. Grupos de precipitación según ICEN en la estación Andahuaylas.	83
Figura 45. Grupos de precipitación según ICEN en la estación Antabamba.	84
Figura 46. Grupos de precipitación según ICEN en la estación Chalhuanca I.	84
Figura 47. Grupos de precipitación según ICEN en la estación Chalhuanca II.	85
Figura 48. Grupos de precipitación según ICEN en la estación Curahuasi.	85
Figura 49. Grupos de precipitación según ICEN en la estación Curpahuasi.	86
Figura 50. Grupos de precipitación según ICEN en la estación Tambobamba.	86
Figura 51. Grupos de precipitación mensualizado según ICEN (Abancay I).	88
Figura 52. Grupos de precipitación mensualizado según ICEN (Abancay II).	89
Figura 53. Grupos de precipitación mensualizado según ICEN (Andahuaylas)	90
Figura 54. Grupos de precipitación mensualizado según ICEN (Antabamba).	91
Figura 55. Grupos de precipitación mensualizado según ICEN (Chalhuanca I).	92
Figura 56. Grupos de precipitación mensualizado según ICEN (Chalhuanca II)	93

Figura 57. Grupos de precipitación mensualizado según ICEN (Curahuasi).....	94
Figura 58. Grupos de precipitación mensualizado según ICEN (Curpahuasi).....	95
Figura 59. Grupos de precipitación mensualizado según ICEN (Tambobamba).....	96
Figura 60. Correlación de Pearson según ONI en la estación Abancay I.....	99
Figura 61. Correlación de Pearson según ONI en la estación Abancay II.....	99
Figura 62. Correlación de Pearson según ONI en la estación Andahuaylas.	100
Figura 63. Correlación de Pearson según ONI para la estación Antabamba.....	100
Figura 64. Correlación de Pearson según ONI de la estación Chalhuanca I.	101
Figura 65. Correlación de Pearson según ONI para la estación Chalhuanca II.	101
Figura 66. Correlación de Pearson según ONI en la estación Curahuasi.	102
Figura 67. Correlación de Pearson según ONI para la estación Curpahuasi.	102
Figura 68. Correlación de Pearson según ONI para la estación Tambobamba.	103
Figura 69. Correlación de Pearson según ONI para las estaciones consideradas.....	104
Figura 70. Correlación de Pearson según ONI (Abancay I).....	105
Figura 71. Correlación de Pearson según ONI (Abancay II).....	106
Figura 72. Correlación de Pearson según ONI (Andahuaylas).....	107
Figura 73. Correlación de Pearson según ONI (Antabamba).....	108
Figura 74. Correlación de Pearson según ONI (Chalhuanca I).....	109
Figura 75. Correlación de Pearson según ONI (Chalhuanca II).....	110
Figura 76. Correlación de Pearson según ONI (Curahuasi).	111
Figura 77. Correlación de Pearson según ONI (Curpahuasi)	112
Figura 78. Correlación de Pearson según ONI (Tambobamba).	113
Figura 79. Correlación de Pearson según ICEN en la estación Abancay I.	115
Figura 80. Correlación de Pearson según ICEN en la estación Abancay II.....	115
Figura 81. Correlación de Pearson según ICEN en la estación Andahuaylas.....	116
Figura 82. Correlación de Pearson según ICEN en la estación Antabamba.....	116
Figura 83. Correlación de Pearson según ICEN en la estación Chalhuanca I.....	117
Figura 84. Correlación de Pearson según ICEN en la estación Chalhuanca II.....	117
Figura 85. Correlación de Pearson según ICEN en la estación Curahuasi.	118

Figura 86. Correlación de Pearson según ICEN en la estación Curpahuasi.	118
Figura 87. Correlación de Pearson según ICEN en la estación Tambobamba.	119
Figura 88. Correlación de Pearson según ICEN para las estaciones consideradas	120
Figura 89. Correlación de Pearson según ICEN (Abancay I).	121
Figura 90. Correlación de Pearson según ICEN (Abancay II).	122
Figura 91. Correlación de Pearson según ICEN (Andahuaylas).	123
Figura 92. Correlación de Pearson según ICEN (Antabamba).	124
Figura 93. Correlación de Pearson según ICEN (Chalhuanca I).....	125
Figura 94. Correlación de Pearson según ICEN (Chalhuanca II).....	126
Figura 95. Correlación de Pearson según ICEN (Curahuasi).	127
Figura 96. Correlación de Pearson según ICEN (Curpahuasi).	128
Figura 97. Correlación de Pearson según ICEN (Tambobamba).	129
Figura 98. Precipitación acumulada mensual de las series incompletas.	133
Figura 99. Precipitación acumulada multianual de las estaciones incompletas.	134
Figura 100. Grupos de la precipitación según ICEN.	137
Figura 101. Precipitación acumulada mensual completadas y extendidas	138
Figura 102. Precipitación anual de las estaciones completadas y extendidas.....	139
Figura 103. Análisis de normalidad en las series de precipitación	141
Figura 104. Variación estacional mensual la precipitación.....	142
Figura 105. Variación estacional según boxplot de la precipitación.	143
Figura 106. Análisis doble masa de las estaciones consideradas.....	144
Figura 107. Consolidado del análisis doble masa de las estaciones.....	145
Figura 108. Relación altura precipitación de las estaciones	146
Figura 109. Isoyetas de precipitación media multianual.	147
Figura 110. Ubicación de sistema de almacenamiento Rontoccocha.	152
Figura 111. Caudales generados en la estación areal Rontoccocha [m ³ /seg].....	166
Figura 112. Caudales medios de ingreso al embalse Rontoccocha	167
Figura 113. Caudales generados en la estación areal Alfallaccocha [m ³ /seg].	167
Figura 114. Caudales medios de ingreso al embalse Alfallaccocha	168

Figura 115. Caudales generados en la estación areal Allcoccocha [m^3/seg].	169
Figura 116. Distribución estacional de caudales de ingreso al embalse Allcoccocha	170
Figura 117. Vista panorámica del sistema de embalse Rontoccocha	171
Figura 118. Histograma de volúmenes de ingreso al embalse Rontoccocha	175
Figura 119. Histograma de volúmenes de ingreso al embalse Alfallaccocha	175
Figura 120. Histograma de volúmenes de ingreso al embalse Allcoccocha	176
Figura 121. Curva doble masa del embalse Rontoccocha	176
Figura 122. Curva doble masa del embalse Alfallaccocha	177
Figura 123. Curva doble masa del embalse Allcoccocha	177
Figura 124. Esquema de funcionamiento del sistema Rontoccocha	178
Figura 125. Vista fotográfica de sistema de almacenamiento Rontoccocha	179
Figura 126. Volumen promedio disponible y Volumen promedio almacenado	181
Figura 127. Caudales de operación de compuertas en el embalse Rontoccocha	183
Figura 128. Caudales de operación en el embalse Rontoccocha	184
Figura 129. Simulación de operación de embalse para la cuenca Alfallaccocha	184
Figura 130. Simulación de operación de embalse para la cuenca Allcoccocha	185
Figura 131. Simulación de operación de embalse para la cuenca Rontoccocha	185

RESUMEN

El estudio tiene por objeto establecer las diferencias significativas entre los índices de teleconexión (ONI e ICEN) de los eventos ENOS (El Niño Oscilación del Sur) y la precipitación acumulada mensual con las estaciones pluviométricas del departamento de Apurímac, para lo cual se realizó la agrupación de la precipitación en función de las fases de los eventos ENSO en los grupos (La Niña, El Niño y Neutro), buscando una diferencia significativa entre estos grupos y la existencia de una correlación lineal entre ella, de los cuales se pudo observar que la que mayor influencia tiene en las estaciones de Apurímac es el índice de teleconexión ICEN del cual se tiene mayor significancia entre los grupos de fases ENOS con respecto al ONI. Debido a la escasez de datos de precipitación en las estaciones analizadas, estas se completaron por el método de Thomas y Fiering tomando como referencia los datos históricos de la precipitación considerando los eventos ENOS (ICEN) según el año y mes donde ocurrió el evento y colocando los valores faltantes y completar las series históricas (1964-2020). Con las series completadas y extendidas se verificó la homogeneidad y consistencia y se procedió a generar los valores de la precipitación areal para la zona de estudio, generándose con ello los caudales por el método de Lutz Sholz y obtener los volúmenes de ingreso a las lagunas de Rontoccocha, Alfallaccocha y Allccoccocha. Para la evaluación hidrológica se realizó un balance hídrico y una simulación de operación de embalse tomando como base los datos del sistema existente obteniendo como resultado un alto performance en el comportamiento hidrológico de la presa y su capacidad de almacenamiento promedio se estimó en 2'401,077.16 m³ para un año normal, y que actualmente el sistema almacena 2'018,000.00 m³.

Palabras claves: Índices de teleconexión, ONI, ICEN, precipitación acumulada mensual, volumen de almacenamiento.

ABSTRACT

The study aims to establish the significant differences between the teleconnection indexes (ONI and ICEN) of the ENSO events (El Niño Southern Oscillation) and the accumulated monthly precipitation with the pluviometric stations of the department of Apurímac, for which the grouping of precipitation according to the phases of the ENSO events in the groups (La Niña, El Niño and Neutro), looking for a significant difference between these groups and the existence of a linear correlation between it, of which it could be observed that The one that has the greatest influence on the Apurímac stations is the ICEN teleconnection index, of which there is greater significance among the ENSO phase groups with respect to ONI. Due to the scarcity of precipitation data in the analyzed stations, these were completed by the Thomas and Fiering method, taking as reference the historical precipitation data considering the ENSO events (ICEN) according to the year and month where the event occurred and placing the missing values and complete the historical series (1964-2020). With the completed and extended series, the homogeneity and consistency were verified and the areal precipitation values for the study area were generated, thereby generating the flows by the Lutz Sholz method and obtaining the volumes of entry to the lagoons of Rontoccocha, Alfallaccocha and Allccoccocha. For the hydrological evaluation, a water balance and a reservoir operation simulation were carried out based on the data of the existing system, obtaining as a result a high performance in the hydrological behavior of the dam and its average storage capacity was estimated at 2'401,077.16 m³ for a normal year, and that currently the system stores 2'018,000.00 m³.

Keywords: Teleconnection indexes, ONI, ICEN, accumulated monthly precipitation, storage volume.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la repercusión del fenómeno “El Niño” a través de la variación climática ha ocasionado pérdidas económicas en los sectores de transporte, agricultura, saneamiento básico, agua potable, infraestructura hidráulica públicas y privadas siendo la principal variable considerada por (Pérez-Campomanes & Lannacon, 2020), a la precipitación como causa de diversos problemas de sequías e inundaciones en Sudamérica.

Asumiendo que el fenómeno El Niño se presenta en forma periódica con distintas intensidades se propuso como tema de investigación y estudio dicha variación climática de la precipitación respecto a las oscilaciones periódicas que presenta el fenómeno El Niño (Di Liberto, 2018)

Las implicancias que involucra el estudio del fenómeno “El niño” hace que se analicen los periodos oscilatorios de las fases caliente, frío y normal o neutro, a partir de la información proporcionada por los centros de monitoreo en el océano pacífico y en las costas del norte del Perú (León Altuna, 2014).

Para analizar los impactos de estas oscilaciones en las lluvias en la cordillera de los andes se han desarrollado diversos estudios respecto a la relación que existe entre la precipitación y el ciclo oscilatorio del El Niño Oscilación del Sur (ENOS), lo cual nos permite inferir la variación climática de la precipitación con respecto a la variación de la temperatura superficial del mar (TSM), lo cual afecta en diversos puntos del continente con problemas de sequía y humedad excesiva.

A nivel internacional (Sedano et al 2020) mencionó que, en un estudio realizado por el (Banco Mundial, 2014) sobre la variación climática asociada a los eventos de “El Niño Oscilación del Sur” (ENSO) este genera un gran impacto al ambiente y afecta socioeconómicamente a los países como Colombia. Evidenciándose que durante la fase fría (Niña) del ENSO este evento provoca grandes desastres por inundaciones y deslizamientos por saturación de suelos afectando a más de 500 mil habitantes, con una recurrencia de 2 a 4 años. También indicó en dicho estudio que durante el periodo 1950 - 2018 se ha producido más de 177 desastres naturales en el país de Colombia, donde el 45% de los casos fueron por inundaciones. Manifiesta también que, en relación a otros países latinoamericanos, el país de Colombia tiene la más alta tasa de emergencias

recurrentes generadas por fenómenos naturales (más de 600 reportes al año); esto no solamente se debe a las condiciones ambientales naturales sino también a que el 84.7% de los asentamientos humanos están localizados en las áreas expuestas los peligros naturales.

La Corporación Andina de Fomento CAF (2017) Publicó en su portal web que la falta de precipitaciones origina las sequías, y este a su vez genera un impacto muy severo a las unidades hidrográficas. Notoriamente afectando al sector eléctrico de los países latinoamericanos debido a la poca disponibilidad del agua en los embalses afectando fuertemente su capacidad de generación de energía, Así mismo, se generan otros problemas como la erosión y el desabastecimiento de agua facilitando la propagación de grandes incendios afecte grande inmensas extensiones de bosques forestales y vegetación.

A nivel nacional tenemos la grata experiencia de los eventos de El niño y la niña, que han causado grandes desastres en el norte del Perú, con inundaciones a muchas ciudades importantes como lo ocurrido en el año de 1982 - 1983 y 1997 -1998 y últimamente en el año 2017. Así mismo también por los efectos de estos efectos se ha tenido también grandes sequias en la sierra central y sur del Perú atribuyéndosele a estos eventos generándose también cuantiosas pérdidas económicas por el marchitamiento de numerosas áreas de cultivo afectando la producción agropecuaria y a ello también se le puede atribuir la propagación de los incendios forestales por la ausencia de las precipitaciones (Brown Manrique, et al, 2015) y (Menacho Casimiro & Dávila Arriaga 2018)

En la región de Apurímac han ocurrido muchos problemas de sequía e inundaciones debido a que la estacionalidad climática ha llegado a los extremos afectando a la agricultura con prolongadas sequias debido a la ausencia de las precipitaciones pluviales y también se ha producido de manera constante huaycos y deslizamiento por la excesiva saturación de suelos afectando a las vías de comunicación y erosión de riberas poniendo en riesgo a las poblaciones ubicadas cerca de las quebradas y ríos, y que dichos fenómenos se le atribuye a los efectos causados por los eventos de calentamiento y enfriamiento de la temperatura superficial del mar y que el problemas más visible por los pobladores es la disminución progresiva de la disponibilidad hídrica lo cual requiere un análisis mucho más exhaustivo de la variación climática en relación con las

precipitaciones pluviales ya que de la cantidad de la precipitación depende el rendimiento de los caudales disponibles en las cuencas hidrográficas (Mejía Medina 2017)

Es por ello que el presente estudio nos hemos planteado como problema general: ¿Existirá alguna relación entre la precipitación pluvial y los índices de teleconexión “ENOS”, para la evaluación hidrológica de la presa Rontoccocha, Abancay – 2021? Así mismo de la misma manera nos hemos planteado los problemas específicos: ¿Existirá alguna variación entre los grupos de precipitación, según la condición ENOS de los índices de teleconexión para el periodo de 1964-2020? ¿Qué tipo de relación existirá entre los índices de teleconexión (INO e ICEN) y la precipitación pluvial en la zona de influencia del estudio para el periodo de 1964-2020? ¿Se podrá obtener datos de precipitación con modelos estocásticos en la zona del estudio tomando en cuenta la relación que existe entre los índices de teleconexión y la precipitación pluvial en la zona de influencia del estudio para el periodo de 1964-2020? ¿Se podrá evaluar el comportamiento hidrológico de los volúmenes generados y la capacidad de regulación del embalse de la presa Rontoccocha, Abancay – Apurímac?

Justificación de la investigación:

Justificación teórica: Debido a que no existen estudios de investigación en la región Apurímac, sin embargo, existen mucha información en otras regiones y países ubicados en la cordillera de los andes y que existe una necesidad de implementar nuevos estudios en la región Apurímac.

Justificación Metodológica: La metodología planteada nos permite analizar y explorar los comportamientos hidrológicos y climáticos con ayuda de las pruebas estadísticas, métodos determinísticos y métodos estocásticos la obtención de los principales parámetros hidrológicos en relación a la variabilidad climática y pudiendo interpretar los resultados obtenidos.

Justificación Técnica: Con el avance tecnológico del manejo y procesamiento de la información por medio de programas informáticos hoy nos permite realizar análisis grandes cantidades de datos y así poder observar los patrones y el comportamiento de los fenómenos climáticos e hidrológicos los mismos que nos ayudó a elaborar esta tesis.

Justificación Ambiental: para poder realizar estudios de sequias y con fines de desarrollar programas de adaptación al cambio climático, periodos húmedos para análisis de inundaciones, deslizamientos, erosiones y otros, además este tipo de estudios pueden dar soluciones para planificar conservar, prevenir y mitigar daños que ocasionen pérdidas económicas y sociales a la población de Abancay y la microcuenca del río Mariño donde se encuentra ubicada.

Justificación Social: la relación de la precipitación y las oscilaciones climáticas de las teleconexiones atmosféricas de El Niño nos permite conocer las variaciones generados por la presencia del fenómeno El Niño para poder pronosticar y planificar los sistemas de almacenamiento y prevenir posibles conflictos sociales por el agua, desarrollando actividades de manejo de los recursos naturales.

Objetivos

Objetivo general: Analizar la relación de la precipitación y los índices de teleconexión “ENOS” para la evaluación hidrológica de la presa Rontoccocha, Abancay – 2021; así también se planteó como objetivos específicos: Identificar los grupos de precipitación, según la condición ENOS de los índices de teleconexión para el periodo de 1964-2020. Determinar la relación que existe entre los índices de teleconexión (ENOS) y la precipitación pluvial en la zona de influencia del estudio para el periodo de 1964-2020. Generar datos de precipitación con modelos estocásticos en la zona del estudio tomando en cuenta la relación que existe entre los índices de teleconexión y la precipitación pluvial en la zona de influencia del estudio para el periodo de 1964-2020. y Evaluar el comportamiento hidrológico de los volúmenes generados y la capacidad de regulación del sistema de embalse de la presa Rontoccocha, Abancay – Apurímac para determinar la operación de embalse.

Hipótesis

Hipótesis general: Existe una relación significativa entre la precipitación y los índices de teleconexión “ENOS” para poder realizar la evaluación hidrológica de la presa Rontoccocha, Abancay – 2021. Así mismos las Hipótesis específicas: Existe variación entre los grupos de precipitación, según la condición ENOS de los índices de teleconexión para el periodo de 1964-2020; Existe relación

significativa entre los índices de teleconexión (ENOS) y la precipitación pluvial en la zona de influencia del estudio para el periodo de 1964-2020; Los modelos estocásticos nos permite obtener datos de precipitación en la zona del estudio tomando en cuenta la relación que existe entre los índices de teleconexión y la precipitación pluvial en la zona de influencia del estudio para el periodo de 1964-2020; La evaluación del comportamiento hidrológico de los volúmenes generados y de la capacidad de regulación del embalse de la presa Rontoccocha, Abancay – Apurímac nos permite determinar la operación de embalse.

II. MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes

Como **antecedentes internacionales** tenemos a Ontaneda, D. (2020) presentó en su tesis de maestría realizada en Ecuador teniendo como objetivo el análisis del comportamiento de la precipitación y el volumen en el embalse Salve Faccha, represamiento con fines de abastecimiento de consumo de agua potable para la ciudad de Quito. **La metodología es de tipo aplicada y diseño no experimental** Obteniendo como resultados en cuanto a la relación entre la cantidad de la lluvia y volumen del represamiento Salve Faccha, en el análisis realizado del tiempo presente, se reportó que en los meses de lluvias (abril a junio) la variabilidad de volumen del embalse es menor, y que en los meses considerados como épocas de secas (septiembre a diciembre) la variabilidad del volumen es mayor; el cual esta variación del volumen depende de la operación de la presa, que varía de acuerdo al consumo del volumen según la demanda de agua en la ciudad de Quito. La cantidad de almacenamiento se relaciona de manera directa con las precipitaciones pluviales, y que el análisis realizado muestra que los meses donde se obtiene mayor cantidad de volumen corresponden a los meses de abril a junio que es precisamente la época de mayor cantidad de precipitación y los periodos de menor cantidad de lluvia coinciden con menores volúmenes (septiembre a diciembre). En otro de sus resultados resaltó que hubo periodos atípicos en la intensidad de lluvias; siendo los años 2012 y 2013 en los que hubo una disminución de la lluvia y que dicho periodo corresponde al evento de enfriamiento La niña y en que los años 2015 y 2016 se tuvo un aumento considerable en las precipitaciones el mismo que se le atribuye al evento de calentamiento “El niño”; estos eventos condicionan el comportamiento del clima pueden aumentar o disminuir los regímenes de lluvia ya sea aumentando y disminuyendo la cantidad de la lluvia en ciertos meses del año, lo que originaría un replanteo en el plan operativo de manejo del embalse. En otro resultado del análisis para el escenario del tiempo futuro, se determinaron las variables hidrológicas a corto y largo plazo proyectándose hacia los años 2020, 2025, 2030, 2035 y 2040. Cuyos resultados de la variable que es la precipitación futura su comportamiento unimodal se conserva similar al escenario de análisis del tiempo presente, con variaciones en los picos máximos

de la precipitación presentándose de manera mucho más intensas en las épocas de lluvias. Otros factores hidrológicos como la escorrentía, infiltración y evaporación generadas en lugar del embalse contribuyen en la cantidad de agua aportada hacia el embalse generando volumen útil de la presa para la operación y consumo de agua para consumo la ciudad de Quito. En **la conclusión para el estudio se indicó que** para un escenario de “tiempo futuro”, se analizaron varias tendencias relacionando la lluvia con el volumen de almacenamiento para los años 2020, 2025, 2030, 2035 y 2040, en la unidad hidrográfica del Quijos permitiendo obtener la idea del comportamiento hídrico del embalse para un escenario futuro en concordancia con los regímenes de la precipitación estacional. Se concluye también que existe una relación entre el volumen y la precipitación indicando el comportamiento multianual mensual, pero no esta relación nos permite la generalización de una ecuación entre la precipitación y el volumen.

En otro **antecedente internacional** mencionamos a Ramírez C. et al (2008) publican un artículo en Colombia teniendo como **objetivo** tratar de reducir las incertidumbres existente por la escasa información meteorológica existente para explicar eventos o anomalías climáticas de baja periodicidad y analizar de que el Índice Oceánico El Niño (ONI) es el único índice capaz de describir la variación de los valores de los elementos del clima a escala mensual a través de un estudio comparativo que permite determinar la idoneidad espacio-temporal de diferentes índices y moduladores del clima en una región agrícola del norte de los Andes. La metodología **es de tipo aplicada y diseño no experimental** Obteniendo como **resultados** La correlaciones significativas de los índices climáticos con la lluvia, no tienen una estabilidad, observándose una baja capacidad predictiva sobre las precipitaciones en las estaciones consideradas y que diversos estudios han presentado que para las correlaciones de las precipitaciones y los caudales de los ríos en Colombia, han mostrado una mayor correlación entre el índice ODP rezagada en dos meses con las precipitaciones. Los índices climáticos ONI y BEST presentaron correlaciones con las precipitaciones en todos los meses del año como son de abril a julio y de septiembre a noviembre el resultado de las correlaciones con el índice climático BEST presenta un mejor ajuste respecto a las correlaciones que se obtuvo con el índice climático ONI. La existencia de la

relación entre estos índices climáticos ENOS con la lluvia acumulada mensual es buena hasta los tres meses de retardo, presentando además que en los meses de mayo, julio y octubre presenta una correlación lineal y débil, dejando entrever que los índices climáticos no aseguran una capacidad de predicción sobre la variación que pueda tener sobre la precipitación. En otro de sus resultados respecto a las correlaciones entre la precipitación y ENOS, revelan al igual que en otras investigaciones la influencia que tiene el incremento de la temperatura superficial del mar sobre la variabilidad que tendría la precipitación en distintos meses y la potencialidad de predicción que tiene el fenómeno ENOS con la precipitación en la zona de Caldas, Colombia. En las **conclusiones** del estudio se demostró que los índices climáticos analizados en el estudio presentan una significancia en la variación de la lluvia a escala mensual en 16 estaciones pluviométricas del departamento de Caldas. No obstante, el índice climático ODP genera impactos débiles sobre la variación de la lluvia. Los resultados de los análisis en esta investigación servirán de base a una base teórica para un análisis con las precipitaciones utilizando para ello los índices climáticos que pueden predecir en cada región cafetera en el departamento de Caldas. Estudios que podrían mejorar la reducción de riesgos por déficit o exceso hídrico en subsuelo.

Las correlaciones entre la precipitación mensual con los índices climáticos están sostenidos a una estabilidad estadística muy fuerte y que los resultados pueden ayudar a generar modelos para predecir las condiciones de humedad y secas o también menos secas y húmedas adoptando un índice climático específico como un factor predictor. Por otro lado, los índices del clima tienden a generar impactos sobre la variación mensual de la precipitación hasta después de tres meses, por lo que se puede indicar que el pronóstico de la lluvia mensual tenga que ser en la actualidad una tarea muy desafiante. En concordancia a la investigación, los índices climáticos muy adecuados como factores predictores para la lluvia mensual son el BEST y ONI ya que presentan una significancia estadística muy buena.

En otros antecedentes internacionales tenemos a Póveda et al. (1996), teniendo como **objetivo** analizar los eventos asociados al El Niño y La Niña que constituyen las fases extremas del fenómeno océano atmosférico conocido como

El Niño-Oscilación del Sur, ENSO. **La metodología es de tipo aplicada, correlacional y diseño no experimental.** Obteniendo los siguientes resultados: En el que se puede decir que evento El Niño genera episodios secos fuertes y prolongados, así mismo el evento La Niña genera mayor cantidad de precipitación y mayores caudales. Se presento también un análisis estadístico cuantitativo respecto a la influencia con las fases de El Niño y la Niña con las series históricas de caudales en cincuenta ríos de Colombia de los que se cuenta con datos en las estaciones de medición donde se estimaron las principales parámetros estadísticos de los caudales medios mensuales para los eventos de El Niño y La Niña, como también del registro histórico completo precisamente para la confirmación de la fuerte influencia que generan los fenómenos atmosféricos del océano Pacífico que afecta a la hidrología Colombiana, del cual se mostraron un reporte del análisis de la correlación con el Índice de Oscilación del Sur (IOS) y la temperatura superficial del mar. **Las conclusiones del estudio** indican que tanto los análisis para determinar la dependencia de los caudales medios en Colombia con relación a los eventos ENSO y el análisis de los histogramas de frecuencias acumuladas realizado a las series históricas de los caudales medios mensuales serán de mucha utilidad para las tareas en la planificación y en la operación de los sistemas integrados de los recursos hídricos. Otros análisis tratan de profundizar el poco conocimiento sobre la influencia de los eventos del ENSO más aun sobre la caracterización del espacio temporal del régimen hidrológico en Colombia. El índice climático tradicionalmente utilizado en Colombia (SOI) se ha convertido en una herramienta muy fundamental en la predicción, sobre todo en los ríos y afluentes de la región andina de Colombia. La correlación entre la temperatura superficial del océano pacifico tiene una mayor influencia sobre el régimen hidrológico de Colombia. Asimismo, indican también que el ciclo anual al parecer juega un papel en la dinámica de los fenómenos océanos atmosféricos ENSO, ya que presenta una alta predictibilidad en ciertos meses y una baja predicción en ciertos meses del año.

Como **antecedentes nacionales** tenemos a Accostupa, Y. (2017), teniendo como **objetivo** Analizar la relación entre el índice costero El Niño y la variabilidad climática en la Provincia de Cusco, 1964 – 2014. **La metodología es de tipo**

aplicada y de diseño experimental. Obteniendo los siguientes **resultados:** Del análisis del valor medio de la precipitación mensual sin considerar el evento de el Niño (Fase Neutra) tiene como promedio de 65.83 mm con una desviación estándar de ± 5.92247 mm, fluctuando en el 95 % de confiabilidad en el intervalo [59.91 - 71.76] mm. De la misma manera con un intervalo de confianza del 95%, se obtuvo el promedio de la precipitación con la presencia de los eventos el niño es de 45.87 mm con una desviación estándar de ± 8.11921 mm, por lo que el valor de la precipitación fluctúa en el intervalo de [37.75 – 53.99] mm. **La conclusión** respecto al análisis de las precipitaciones en el periodo de análisis es el siguiente en que los resultados anteriores se realizó el análisis ANOVA con un nivel de confianza del 95% se obtuvo una significativa diferencia de las medias para las precipitaciones con y sin evento el Niño con valores de [19.96 \pm 10.45]mm fluctuando entre [9.51342 – 30.41] mm. Del análisis estadístico de t student se obtuvo un $t = 3.75253$ y un valor- $p = 0.000194696 < 0.05$, por lo que, rechazando la hipótesis nula, los promedios de los. Grupos de precipitaciones con y sin el evento de el niño muestran una variación y son diferentes de tal manera que el evento El Niño presenta una menor precipitación que el evento Neutro (sin El Niño).

Otro antecedente nacional tenemos a Rivera, M. (2018), teniendo como objetivo evaluar el potencial predictivo de dos índices de teleconexión ENSO (El Niño Southern Oscillation), ONI (Oceanic Niño Index) e ICEN (Índice Costero El Niño), sobre el comportamiento de la lluvia y el rendimiento del cultivo de papa La metodología es de tipo aplicada correlacional y diseño no experimental. Obteniendo los resultados Se realizó el análisis de los patrones de circulación atmosférica que rigen en departamento de Junín, en donde las precipitaciones se condicionan por el acoplamiento de la Alta de Bolivia y la Vaguada de Noreste de Brasil en la alta atmósfera, y que uniéndose a la gran cantidad de humedad trasladada de la cuenca amazónica definen una estación con mucha precipitación en las zonas altoandinas de la sierra central del Perú. También se realizó un análisis de la variabilidad del clima; iniciando y finalizando la temporada de lluvias encontrándose que este predomina en los meses de octubre a marzo donde se producen entre el 75 a 85 por ciento de la precipitación con lluvias pico en el mes de febrero. Se obtuvo cuatro áreas homogéneas en

los trimestres de setiembre a noviembre y de enero a marzo, siendo la zona C con mayor área de dedicación al cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*). Se obtuvo a través del análisis ANOVA se muestra que las fases ENSO presentan una variación significativa en las distribuciones de las precipitaciones, con mucho énfasis con el índice climático ONI en octubre y noviembre, así como en enero y febrero. Para la previsión y análisis de las precipitaciones pluviales, estas pueden realizarse con dos meses de rezago (Lag 2) para los meses tanto de octubre, enero y febrero, ya que se debilita la señal teleconexión de los índices ONI e ICEN a partir del tercer mes de rezago (Lag 3). Analizando con el índice climático ONI se observó que existe una predominancia de las precipitaciones por debajo de lo normal en el mes de octubre para los rezagos Lag 0 y Lag 2 y para la fase caliente, y así mismo precipitaciones por encima de lo normal durante los meses de enero y febrero con retardo Lag 1 con la fase fría. Las conclusiones de estudio indicaron que respecto a los efectos producidos por las fases caliente y fría del ENSO en los residuales de rendimientos anuales del rendimiento en la producción del cultivo de papa, en la mayoría de distritos no mostraron diferencias estadísticamente significativas analizados con los índices climáticos, con la excepción de cuatro distritos con mayores y menores residuales positivos y negativos de rendimiento en la fase positiva y negativa con el índice climático ONI; en el caso del índice climático ICEN, presenta en tres distritos una diferencia estadísticamente significativa, donde el comportamiento de los residuales de rendimiento son iguales al índice climático ONI para las dos fases ENSO.

También tenemos otro antecedente nacional Condori, B. (2018), teniendo como objetivo el Análisis del comportamiento de las precipitaciones en la cuenca del río Huancané en condiciones de desarrollo del fenómeno del Niño y La Niña, 1965 – 2017. La metodología es de tipo aplicada y diseño no experimental. Obteniendo resultados como resultado obtenido se indica que durante la fase cálida del evento El Niño en la unidad hidrográfica del Río Huancané, las lluvias disminuyen en un 15% determinándose en las cuatro estaciones del estudio analizadas, igualmente se observa que las temperaturas se incrementan, por lo que se tiene un aire más cálido generando sequías, debido a los vientos con velocidades y direcciones que predominan del oeste al este. Se observó que

durante el evento de fase fría La Niña sucede lo contrario en donde las precipitaciones se incrementan en un 17%, y que la temperatura tiene una tendencia a la baja. En sus conclusiones indica que cuando se presenta el evento El Niño las lluvias mensuales disminuyen de manera significativa respecto a la media anual de la unidad hidrográfica, constatándose que en las cuatro estaciones consideradas se observa una tendencia a la baja. Analizando en el escenario de los eventos de la fase fría de La Niña existe una tendencia al incremento de las lluvias respecto a la media anual, su muestran claramente que las anomalías son notoriamente positivas en la época de las lluvias, con un aumento considerable en las lluvias en las cuatro estaciones consideradas en el presente estudio. Con la ocurrencia de estos eventos climatológicos se observa también que durante su ocurrencia del evento El niño las temperaturas tienden a incrementarse y los vientos tienden a disminuir sucediendo de manera opuesta al evento de La Niña donde se observándose también que la temperatura del aire disminuye y la ocurrencia de los vientos aumentan. Por lo que se concluye que los dos eventos de variación climática influyen en el comportamiento de las variables climáticas como la precipitación y la temperatura del aire y otras variables meteorológicas.

Como antecedentes regionales tenemos un estudio realizado por el Gobierno Regional de Apurímac (2013), teniendo como objetivo elaborar el estudio hidrológico para el represamiento de la laguna Rontoccocha. La metodología es de tipo aplicada y diseño no experimental. Obteniendo los resultados respecto a la generación de caudales en cada estación ficta de las lagunas consideradas en el estudio de represamiento, en los que se determinó los volúmenes útiles de operación para cada laguna son los siguientes Rontoccocha 2,018,650 m³, Alfallaccocha 436,873m³ y Quequeraccocha 526,409 m³. Con los cuales se realizó la simulación de operación de los embalses utilizados para el diseño de las obras hidráulicas de almacenamiento. Respecto a las conclusiones se indicó que se cuenta con una adecuada disponibilidad del recurso hídrico para un embalse de 2,018,650 m³ que corresponde al volumen de un año normal de lluvia.

Otro de los antecedentes regionales tenemos el estudio realizado por Delgado, H. y Ascue, J (2004) para la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado

de Abancay EMUSAP cuyo objetivo elaborar el estudio hidrológico para la factibilidad del represamiento de la laguna Rontoccocha. La metodología es de tipo aplicada y diseño no experimental. Obteniendo los resultados Se obtuvo los potenciales volúmenes de represamiento en las lagunas de Rontoccocha, Allcoccocha y Alfallaccocha efectuando un balance de la oferta y demanda de agua proyectándose un represamiento de 649,675 m³ en la laguna Rontoccocha y 378,836 m³ para el embalse Allcoccocha haciendo un total de 1'028,512 m³ y que dicho volumen satisface la necesidad de almacenamiento en los meses de abril a mayo, que son los meses de mayor almacenamiento en los represamientos. Indicando además que la demanda de agua para consumo humano es de 50 l/s para los meses de estiaje (mayo a diciembre) y de 35, 85, 90, y 85 l/s para los meses de enero, febrero marzo y abril respectivamente, adicionalmente se contara con 20 l/s para riego en época de estiaje, así mismo indicaron también que el volumen que generan las precipitaciones y los pequeños manantes cercanos a las lagunas del sistema Rontoccocha alcanzan los 2'619,811 m³ Respecto a La conclusión indicó que el estudio brinda una adecuada disponibilidad del recurso hídrico para un embalse de 2'619,811 m³ que corresponde al volumen de una año normal de precipitación.

Como **antecedentes en otros idiomas** tenemos a Lavado et al. (2012), teniendo como objetivo realizar el análisis extendido y original de la evolución temporal de las precipitaciones mensuales, de la temperatura media (Tmean), temperatura máxima (Tmax) y temperatura mínima (Tmin) realizados sobre dos cuencas amazónicas andinas peruanas como son de los ríos Huallaga y Ucayali, durante los últimos cuarenta años. La metodología es de tipo aplicada y diseño no experimental. Obteniendo como resultados una tendencia positiva significativa en la temperatura media de ± 0.09 °C por cada década, se detectó además sobre la región de análisis valores muy similares en la zona andina y la selva tropical considerando el promedio de datos, no obstante, un elevado porcentaje de número de estaciones con un Tmean con significancia, las tendencias positivas se encuentran en la región Andina. Los cambios en los valores medios ocurrieron en las Tmax (principalmente en la década de 1970) y que las Tmin (en la década de 1980). En las conclusiones del estudio hidro climatológico de la cuenca amazónica-andina peruana, se encontró que no existe tendencia ni cambio

medio en las precipitaciones, para el período 1965-2007. las precipitaciones anuales tanto de verano y de otoño en el sur Andino presentan una variabilidad interanual muy importante el cual está asociada con el incremento de la temperatura superficial del mar (TSM) del Océano Atlántico tropical, mientras que si se tiene relaciones limitadas entre las precipitaciones y los eventos del El Niño oscilación del Sur (ENOS). De manera contraria, se observa que la variabilidad climática interanual de la temperatura está relacionada principalmente con los eventos ENOS.

Por otro lado, como **antecedentes en otros idiomas** tenemos a Bappaditya (2014), teniendo como objetivo contrastar cuatro conjuntos de datos meteorológicos de un siglo de duración que comprenden dos conjuntos de observaciones (Unidad de investigación climática CRU y las regresiones de los parámetros-elevación en el modelo de pendientes independientes (PRISM). La metodología es de tipo aplicada y diseño experimental. Obteniendo como resultados donde los autores encuentran que el análisis atmosférico sobre el SEUS (Índice de Teleconexión utilizado en Estados Unidos) puede capturar razonablemente las teleconexiones ENSO como se observan en los conjuntos de los datos de precipitación CRU y PRISM. Inclusive la modelación decenal observada de esta teleconexión por la oscilación multidecadal del Atlántico norte (AMO) se captura ampliamente. El caudal en las 28 cuencas hidrográficas también muestra una consistencia similar en los cuatro conjuntos de datos en que las correlaciones positivas de las anomalías boreales del invierno Niño-3.4 SST con las anomalías correspondientes del caudal, el cambio asociado en la función de densidad de probabilidad del caudal con el cambio de fase de ENSO, y la modulación decenal de la teleconexión ENSO por el AMO se sustentan en las simulaciones forzadas de caudal por los cuatro conjuntos de datos climáticos (CRU, PRISM, 20CR y FLARes1.0). En las conclusiones se pudo indicar que el estudio revela que el programa FLARes1.0 desarrollada por los autores reprodujo una correlación verificable de caudal con el índice Niño-3.4 SST en invierno, cambios consistentes en la distribución del caudal con la fase ENSO y la modulación AMO de los efectos ENSO en el caudal comparado al caudal simulado con precipitación cuadrículada observada y datos de reanálisis a mayor escala.

Como **antecedentes en otros idiomas** tenemos a Kyung-Sook et al. (2021), teniendo como objetivo el análisis de la intensificación de la variabilidad de las precipitaciones del evento El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) en respuesta al calentamiento global. La metodología es de tipo aplicada y diseño experimental. Obteniendo resultados donde se presenta un mecanismo que vincula el aumento medio de la temperatura superficial del mar (TSM) con la amplificación de la variabilidad entre el ENSO y la precipitación. Se presento además que la pendiente de la función de variabilidad SST y la lluvia sobre la región Niño3 se vuelve más pronunciada en un clima más cálido, en un 42.1% de aumento en el periodo 2050-2099 en relación con el periodo 1950-1999, debido al aumento en la sensibilidad a la humedad impulsada por Clausius-Clapeyron, en un 16.2 % y las contribuciones dinámicas, en un 25,9%. Una reconstrucción teórica de la variabilidad entre el ENSO y la precipitación apoya aún más este mecanismo. La conclusión del estudio indica que hay implicancia en los impactos hidrológicos de ENSO aumentando de manera no lineal en respuesta al calentamiento global.

Como **antecedentes en artículos científicos** realizados tenemos a Giler-Ormaza et al. (2019), quienes realizaron un estudio del comportamiento hidrológico teniendo como objetivo analizar el comportamiento hidrológico de las unidades hidrográficas de las zonas tropicales de Ecuador, para ello se utilizó índices de comportamiento hidrológico. La metodología fue aplicada y de diseño no experimental, el cual fue utilizar pequeñas cuencas de áreas no mayores a 9 km², registrando sus caudales, con grandes cantidades de datos de caudales para la obtención de series de tiempo muy largas abarcando temporadas húmedas y secas en un año. Aquí nos enfocamos en los índices: variabilidad diaria del caudal (QVAR), tendencia de la curva de durabilidad del flujo (R2FDC), el Índice de Regulación Hidrológica (IRH), tiempo promedio de los pulsos de baja frecuencia (DLQ75) y tiempo promedio de los pulsos de alta frecuencias (DHQ25). Los resultados los QVAR se encuentran entre el intervalo 0.45 y 1.17, lo que indica que la variación del flujo es relativamente baja. Los valores de IHR que se obtuvieron fueron menores a 0.50 lo que nos indica que la regulación hidrológica de las unidades hidrográficas no es alta. Sin embargo, el índice R2FDC muestra una tendencia a la baja, indicando que se tiene una buena capacidad de regulación hidrológica. Los índices de frecuencias DLQ75 y

DHQ25 están entre el intervalo de 0.35 días y 2.44 días que indican valores de caudales de variación rápida a moderadamente rápida. La conclusión es que en las cuencas seleccionadas existe una variación de caudales durante ciertos periodos de análisis (temporadas secas y húmedas).

En un **artículo científico** publicado por el Instituto Geofísico del Perú IGP tenemos a Lavado-Casimiro, W., & Espinoza, J. C. (2014), teniendo como objetivo estudiar los Impactos de El Niño y La Niña en las Lluvias del Perú (1965-2007). La metodología es de tipo aplicada y diseño no experimental. Obteniendo resultados donde se muestran que solamente cuando se producen los eventos El niño fuerte y La niña fuerte muestran que la mayoría de estaciones tienen anomalías significativas de lluvia, principalmente en las estaciones localizadas en la vertiente del pacífico y Vertiente del Titicaca en los meses de diciembre a mayo. El análisis confirmo que la zona norte de la Vertiente del pacifico presento un incremento de las precipitaciones durante el evento de El niño fuerte, mientras que en el sur de los andes de la vertiente del pacifico muestra una reducción (incremento) de las precipitaciones durante El niño fuerte (La niña fuerte). La Vertiente del Titicaca, muestra un déficit de precipitaciones durante El niño fuerte. Mientras que la variación de la lluvia en la Vertiente del atlántico, es más susceptible a los eventos de La niña fuerte, donde se muestran se observan que las lluvias se incrementan más de lo habitual. La conclusión del estudio es que existe una relación entre el Índice Troup de Oscilación del Sur (IOS) con las precipitaciones sobre la base de años hidrológicos en los andes del Perú

Como **antecedentes en artículos científicos** realizados tenemos a Garrote et al. (2010), teniendo como objetivo el análisis del efecto regulador de los embalses bajo escenarios de cambio climático. La metodología es de tipo aplicada y diseño no experimental. Obteniendo resultados en los resultados observamos que la disponibilidad hídrica en la cuenca hidrográfica sin embalses no llegaría al 10% de la contribución media anual, sin embargo, con embalses mayores, para la cuenca hidrográfica analizado, esta disponibilidad aumenta hasta un intervalo entre el 35% y el 50% de la contribución media anual en la cuenca. La conclusión La capacidad de regulación que ofrecen los embalses puede disminuir la intensidad muy significativamente como respuesta al cambio

climático en las unidades hidrográficas, modificando las características naturales de los aportes hídricos adaptándose a las demandas requeridas.

Como **antecedentes en artículos científicos** realizados tenemos a Velazco et al (2015), teniendo como objetivo analizar las tendencias y la variabilidad de índices de cambio climático: en un enfoque agronómico en regiones de México. La metodología es de tipo aplicada y diseño no experimental. Obteniendo como resultados. En las dos estaciones analizadas ECT y CS se observa que en la década de los 70's, una variación climática de una escasa amplitud; se observaron también tendencias de un aumento a través del tiempo de días con temperaturas mayores de 25°C; para la estación ECT, se identificaron aumentos decadales de 50 días con temperaturas mayores de 25°C en la tendencia lineal, de otro lado podemos resaltar en la cuenca CS la existencia de datos muy escasos por lo que, se observa que en los inicios del año 2000, muestran datos del incremento de la temperatura, que oscilan de entre 180 a 250 días con temperaturas mayores de 25°C. Los efectos más resaltantes en los cultivos debido a las altas temperaturas son: poca firmeza y decoloración del fruto, un cierre potencial de las estomas por alto requerimiento de agua por la evapotranspiración que genera altos valores de estrés hídrico, destruyendo los tejidos enzimáticos a temperaturas mayores a 40 °C. La conclusión es que se permitió inferir que el comportamiento de la variación climática en las regiones de México, así mismo se encontró que la relación de la PCP (Precipitación igual o mayor a 10mm) con la fase del evento de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), con la fase cálida 1977 y 1998, una disminución de la lluvia acumulada total anual.

2.2 Bases teóricas.

Variable independiente 1: Índices de teleconexión

- **Principales conceptos teóricos**

Quiroz, G (2018) Los índices de teleconexión o teleconexiones atmosféricas son variaciones que sufre los patrones de la circulación atmosférica en un nivel de escala mundial en una respuesta a las anomalías producidas por la convección en el Océano Pacífico Ecuatorial.

Loyo R. (2015). Para el estudio y monitoreo de ENOS, en la zona de la región del océano pacifico ecuatorial, oriental, central y occidental es comúnmente seccionado en 4 sectores o regiones (figura 2), donde las regiones 3 y 4 se encuentran ubicados en la zona del pacifico occidental y se caracterizan por presentar las máximas anomalías de temperatura superficial del mar, así la región 3.4 se considera una subregión comprendida entre las regiones niño 3 y 4 y represente un buen indicador de la correlación entre la TSM y el índice de oscilación del sur (ONI). En cuanto a la región Niño 1+2 se incluyen las costas de Perú y Ecuador, donde se incluye también a las islas Galápagos y es una estación que representa buenos indicadores de los cambios inducidos por los eventos el niño en el comportamiento de variabilidad de la costa norte del Perú o en el pacífico de ecuatorial (ICEN).

La ubicación de dichas regiones se especifica esquemáticamente en la figura 2 y las coordenadas graficas en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de las regiones del ENOS

Región	Latitud	Longitud
Región Niño 1+2	0° a 10° S	80° W a 90° W
Región Niño 3	5°N a 10°S	90° W a 150° W
Región Niño 4	5°N a 10°S	120° W a 170° W
Región Niño 3.4	5°N a 10°S	160° W a 150° W

Fuente: Climate prediction center NOAA

En la figura 1 se muestra a las regiones de medición de la temperatura superficial del mar ubicadas en el Pacífico Tropical asociadas a los índices de teleconexión El Niño (Quiroz G, 2018)

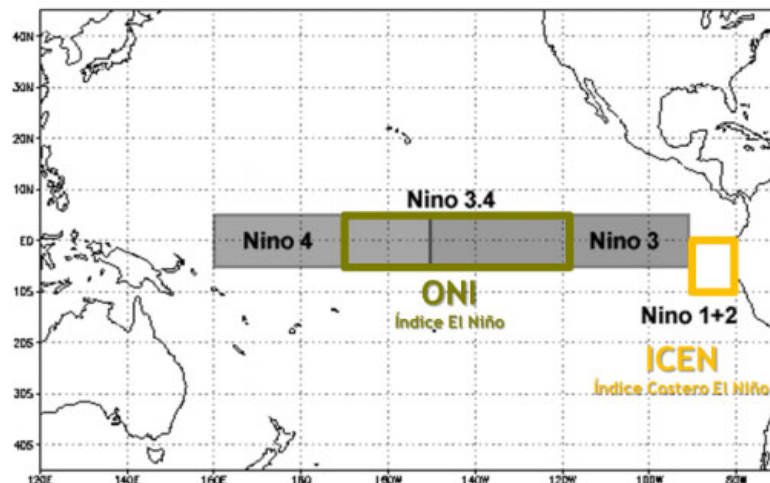


Figura 1: Regiones de medición de la temperatura superficial del mar.

Fuente: Climate prediction center NOAA

- **Propiedades**

Los índices de teleconexión o teleconexiones atmosféricas son valores que se obtienen midiendo la temperatura superficial del mar en diversas zonas de monitoreo en diversos puntos del globo terráqueo, obteniéndose la media móvil de tres meses y comparando esta media con la media central de una base de datos de 30 años de observaciones, actualizándose cada cinco años.

- **Características**

Registran los períodos cálidos (rojo) y fríos (azul) basados en umbrales de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ u otros valores para diferentes índices climáticos (ONI, SOI, ICEN, etc.) con una media móvil de 3 meses de anomalías de Temperatura Superficial del Mar en diferentes regiones del océano pacífico y atlántico.

- **Ventajas**

Registran las variaciones de la temperatura superficial del mar y océano-atmosféricas que nos proporcionan información del calentamiento y/o

enfriamiento para poder predecir el comportamiento climático en diversas zonas del mundo y prever los impactos que puedan ocurrir.

Los índices conforman la más grande base de datos que proporciona información a los investigadores para poder entender el comportamiento y variabilidad climática.

- **Desventajas**

La gran variabilidad de los datos no permite los pronósticos a futuro debido a la incertidumbre en el comportamiento de la temperatura superficial del mar dado que los ciclos que se genera no tienen una periodicidad exacta y que cambian permanentemente y las predicciones que se realizan son a corto plazo.

- **Dimensiones**

- a). Índice Costero El Niño (ICEN)**

En el Perú el índice utilizado de manera oficial por la Comisión Multisectorial para el Estudio del Fenómeno El Niño (ENFEN) para el monitoreo de El Niño y La Niña frente a la costa del Perú y es sostenido por el Instituto Geofísico de Perú.

El ICEN (Índice Costero El Niño) se obtiene a través del cálculo de la media móvil de tres meses de la anomalía de la temperatura superficial del mar (TSM) en la región "Niño 1+2" (90°W-80°W, 10°S-0S°) ver (Figura 2) obtenida de los datos de TSM absoluta en tiempo real NOAA ERSST 3b menos la climatología del periodo 1981-2010. Expresándose en dos decimales.

La diferencia con los otros índices que se usan a nivel internacional es la que refleja mejor la temperatura superficial del mar de nuestra costa norte del Perú, mientras que toda la comunidad científica utiliza el índice IOS (Índice de Oscilación Sur) y ONI (Oceanic Niño Index) monitoreados en el sector Niño 3.4 debido a la representación a gran escala del Pacífico central (Takahashi et al., 2014). Se puede resaltar que el ENFEN monitorea también a los otros índices ya que ejercen cierta influencia en las precipitaciones en la región andina (ej. Lagos et al., 2008) y también en la Amazonía peruana (Espinoza et al., 2013) que son monitoreados mediante estas "teleconexiones" atmosféricas.

Debido a que en el evento El Niño ocurrido en 1998, las anomalías producidas en la costa peruana los valores del índice (Niño 1.2) fueron bastante altos respecto a lo que ocurría en el pacífico central (Niño 3.4), siendo lo opuesto cuando ocurrió el evento El Niño del año 2010. Esto resalto que indica la imperiosa necesidad de monitorear a las dos zonas por separado.

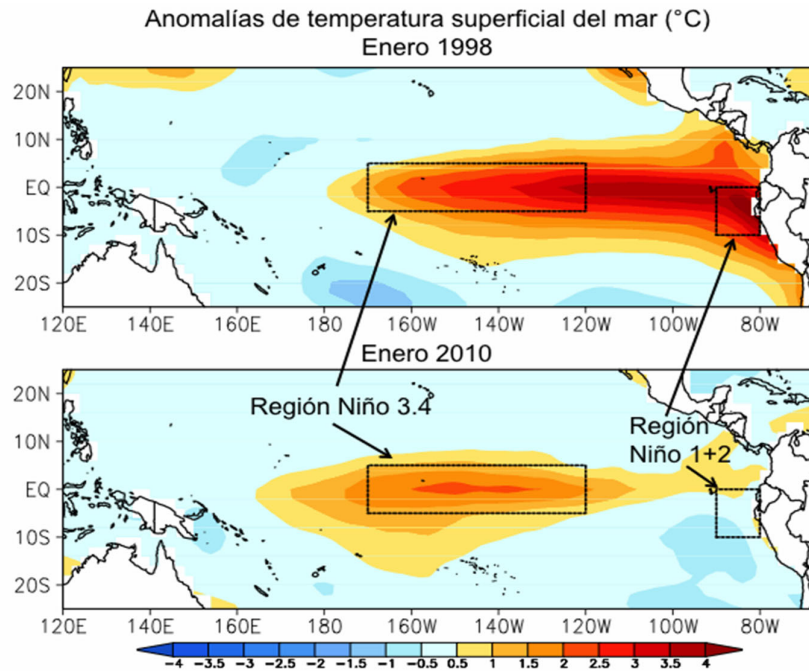


Figura 2. Anomalías de la temperatura superficial del mar (°C).

Fuente: Takahashi et al, 2014

Los patrones de los índices E y C resume la variabilidad que se asocia a los eventos El Niño y La Niña, que representa al calentamiento de la superficie anómalo en el Océano Pacífico este y centro, respectivamente. Debido a la manera en que fueron determinados (usando para ello componentes principales) una correlación lineal entre ellos es baja, por lo que permite distinguir mejor la variabilidad propia de cada una de estas regiones.

En la figura siguiente se muestran los patrones de anomalías de temperatura superficial del mar asociados a valores unitarios de los índices E y C, respectivamente. Claramente, el patrón E tiene mayor efecto en la costa peruana, pero el patrón C también puede ser relevante al clima en la zona andina o amazónica del Perú a través de las "teleconexiones" atmosféricas.

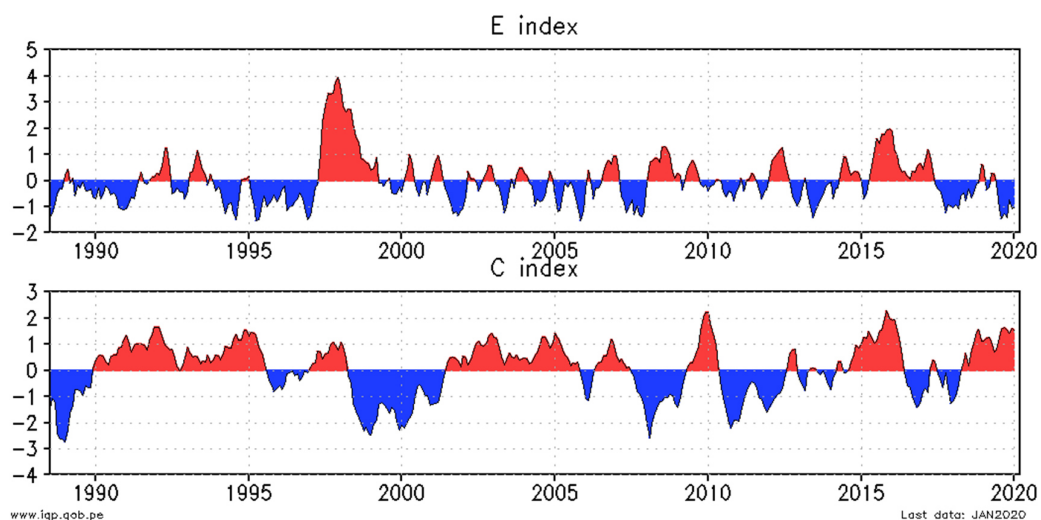


Figura 3. Índice ICEN asociados a la variabilidad climática.

Fuente: Takahashi et al, 2014.

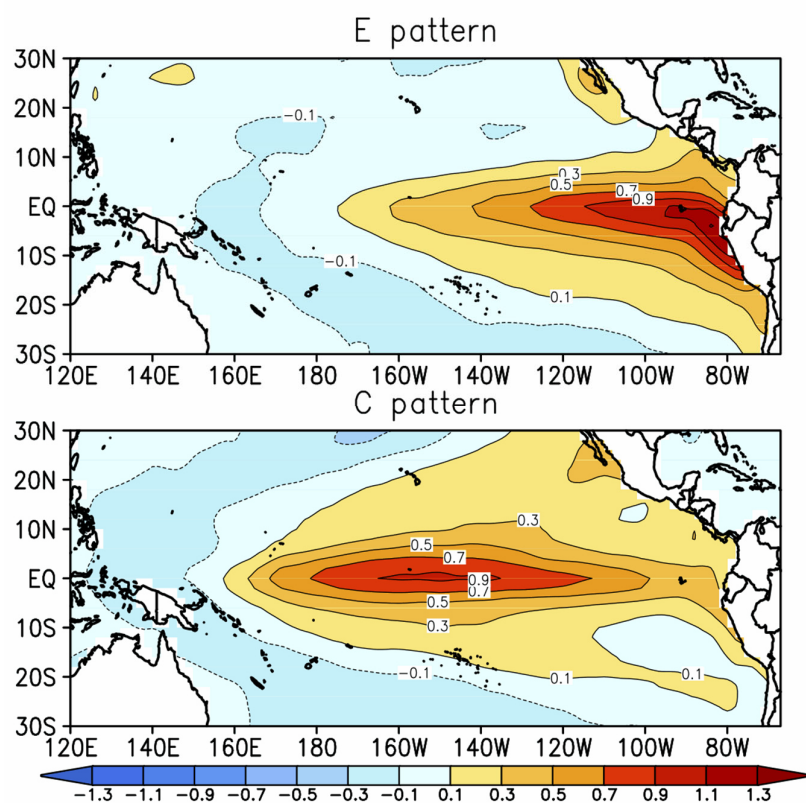


Figura 4. Índices E y C.

Fuente: Takahashi et al, 2014.

Categorías A cada mes se le asignará una categoría. La categoría de "Condiciones Frías" incluye las magnitudes de "Débil", "Moderada", y "Fuerte". La categoría "Condiciones Cálidas" incluye las magnitudes de "Débil", "Moderada", "Fuerte" y "Extraordinaria". Las categorías y magnitudes de estas se asignan de acuerdo con el valor correspondiente de ICEN según indicado en la Tabla 2 donde se muestran las categorías de las anomalías de la temperatura según ICEN (Índice Costero El Niño)

Tabla 2. Categorías de las anomalías según ICEN.

Categoría	Índice Costero El Niño (ICEN)
Cálido extraordinario	Mayor que +3.0
Cálido fuerte	Mayor que +1.7 y menor o igual que +3.0
Cálido moderado	Mayor que +1.0 y menor o igual que +1.7
Cálido débil	Mayor que +0.4 y menor o igual que +1.0
Neutro	Mayor o igual que -1.0 y menor o igual que +0.4
Frio débil	Mayor o igual que -1.2 y menor que -1.0
Frio moderado	Mayor o igual que -1.4 y menor que -1.2
Frio fuerte	Menor que -1.4

Fuente: ENFEN (2012)

b). Índice Niño Oceánico (ONI)

El Índice Niño Oceánico (ONI por sus siglas en inglés) es una cuantificación de la variación de la temperatura superficial del mar obteniendo la condición de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y sus presentando una fase cálida (El Niño) y otra fase fría (La Niña) que se ubica en al Pacífico ecuatorial central. Se determina como el promedio móvil de tres meses consecutivos de las anomalías presentadas sobre la temperatura superficial del mar estimadas a partir del producto ERSST.v5 SST en la región Niño 3.4 (5°N - 5°S, 120° - 170°W), basado en sobre una base de información de periodos de 30 años y que se actualizan cada cinco años. El umbral de la condición neutral es ± 0.5 . (Figura 5).

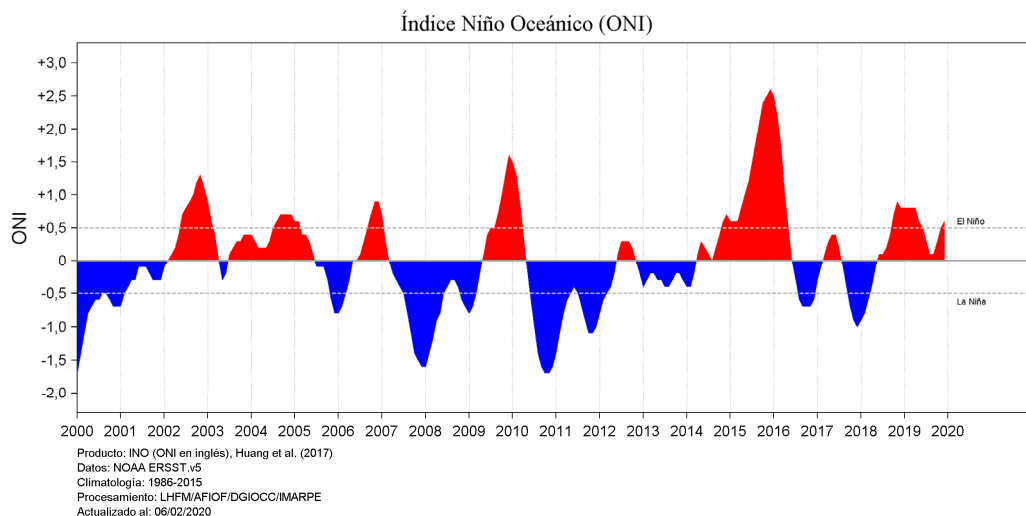


Figura 5. Índice ONI asociados a la variabilidad climática.

Fuente: ENSO, 2021.

En la figura 5 se muestra la serie de tiempo del Índice Niño Oceánico (ONI por sus siglas en inglés) para los últimos 20 años de acuerdo a Huang et al. (2017). Donde los periodos cálidos (en color rojo) o fríos (en color azul) que sobrepasan el umbral de $+0.5^{\circ}\text{C}$ o -0.5°C indican la ocurrencia de El Niño o La Niña, respectivamente. Los datos están disponibles en:

En el caso del ONI, durante un episodio de “El Niño” la contracorriente ecuatorial se intensifica por lo que el máximo de temperatura superficial del mar que había en la zona occidental del Pacífico gradualmente se desplaza hacia el Este y, alrededor de seis meses después, alcanza la costa de América del Sur.

Se consideran episodios cálidos y fríos cuando las anomalías superan el umbral de $+/- 0.5^{\circ}\text{C}$. Cuando dicho umbral es cubierto durante un mínimo de 5 meses consecutivos se definen como episodios del Niño (+) o de la Niña (-). En la gráfica se indican con números de color rojo y azul.

Las categorías y magnitudes de este índice se asignan de acuerdo con el valor correspondiente de ONI según indicado en la Tabla 3 donde se muestran las categorías de las anomalías de la temperatura según ONI (El Índice Niño Oceánico).

Tabla 3. Categorías de las anomalías según ONI.

Categoría	Índice Niño Oceánico (ONI)
Cálido fuerte	Mayor o igual a +1.4
Cálido moderado	Mayor que +0.9 y menor que +1.4
Cálido débil	Mayor que +0.5 y menor que +1.0
Neutro	Mayor que -0.5 y menor que +0.5
Frio débil	Menor que -0.5 y menor que -0.9
Frio moderado	Mayor que -1.0 y menor que -1.5
Frio fuerte	Menor o igual que -1.5

Fuente: ENSO (2021)

- **Indicadores**

a). El indicador para esta variable en el presente estudio el índice ICEN será representado por las siguientes categorías (tabla 4)

Tabla 4. Indicadores del índice ICEN.

Categoría	Índice Niño Oceánico (ONI)
Niño	Mayor que +0.4
Neutro	Mayor o igual que -1.0 y menor o igual que +0.4
Niña	Menor que -1.0

Fuente: ENFEN (2012)

b). El indicador para esta variable en el presente estudio el índice ONI será representado por las siguientes categorías (tabla 5)

Tabla 5. Indicadores del índice ONI.

Categoría	Índice Niño Oceánico (ONI)
Niño	Mayor que 0.5
Neutro	Mayor que -0.5 y menor que +0.5
Niña	Menor que -0.5

Fuente: ENSO (2021)

- **Escala de medición**

a). El ICEN es una medida del Índice Costero El Niño donde se toma el promedio móvil de tres meses consecutivos en la zona (1.2) de la costa norte del Perú, así como otros índices pueden confirmar si las características son consistentes con un fenómeno acoplado océano-atmósfera acompañaron estos períodos. Para fines históricos, los períodos de TSM por debajo y por encima de lo normal se colorean en azul y rojo cuando se alcanza el umbral durante un mínimo de 5 temporadas consecutivas superpuestas.

b). El ONI es una medida de El Niño-Oscilación del Sur obteniendo la media móvil de tres meses de anomalías de TSM ERSST.v5 en la región del Niño 3.4 (5°N-5°S, 120°W -170°W), tomando como base los períodos base centrados en 30 años actualizándose cada cinco años. Al igual que otros índices pueden confirmar si las características son consistentes con un fenómeno acoplado océano-atmósfera acompañaron estos períodos. Para fines de series históricas, los períodos de TSM por debajo y por encima de lo normal se colorean en azul y rojo cuando se alcanza el umbral durante un mínimo de cinco temporadas consecutivas superpuestas.

- **Instrumentos**

a). Para la recolección de los datos del índice ICEN se procedió de acuerdo a la ficha del anexo 4 a partir de los datos observados por en IMEFEN y que los datos están disponibles en archivos ASCII o tipo texto para poder ser procesado en cualquier programa de manejo de datos.

<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/ersst3b.nino.mth.ascii>.

b). Para la recolección de los datos del índice ONI se procedió de igual manera del caso anterior con la ficha del anexo 5 a partir de los datos observados por en NOAA y que los datos están disponibles en archivos ASCII o tipo texto para poder ser procesado en cualquier programa de manejo de datos.

https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/detrend_nino34.ascii.txt

- **Procedimientos**

El procedimiento para obtener esta variable es de medición directa con una serie de instrumentos de medición flotantes sobre la superficie del mar (boya) en diferentes puntos colocados sobre el mar con sensores que miden la temperatura y que luego es registrado directamente previos sometimientos de los datos recopilados a los controles de calidad para ser registrados

Variable independiente 2: Precipitación pluvial

- **Principales conceptos teóricos**

Precipitación pluvial

Es una variable hidrológica de carácter aleatorio, que varía drásticamente en el espacio (variación espacial) y en el tiempo (variación temporal) y es muy común que, en un periodo de tiempo, mientras que en una zona ocurre una lluvia, en otra zona próxima no hay precipitación ninguna. La forma más común y la que mayor interés tienen en la ingeniería, es la lluvia que viene a ser la causa de los más importantes fenómenos hidrológicos, su cuantificación correcta es uno de los desafíos que el hidrólogo o el ingeniero enfrentan.

La precipitación es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la tierra. Ocurre cuando la atmósfera (que es una gran solución gaseosa) se satura con el vapor de agua, y el agua se condensa y cae de la solución (es decir, precipita). El aire se satura a través de dos procesos: por enfriamiento y añadiendo humedad. La precipitación que alcanza la superficie de la tierra puede producirse en muchas formas diferentes, como lluvia, lluvia congelada, llovizna, nieve, aguanieve y granizo.

- **Propiedades:**

Las precipitaciones pluviales tienen la propiedad de ser aleatorias y responde a que sus datos tienen a una función de normalidad donde se muestran claramente los máximos y mínimos valores que se puedan dar por su naturaleza y ubicación valores característicos de una determinada zona. una se caracterizan por su cantidad, tiempo de duración e intensidad. Es decir, una cierta cantidad o masa de agua cae hacia la superficie terrestre en un periodo o tiempo determinado.

- **Características**

- a) Tamaño y forma**

Las gotas de lluvia tienen tamaños en los límites de 0.1 mm hasta los 9 mm de diámetro, y por encima de ese tamaño tienden a romperse. Las gotas más pequeñas se llaman gotitas de nube, y su forma es esférica. Cuando una gota de lluvia aumenta de tamaño, su forma se hace más redondeada, con un corte transversal más grande.

- b) Intensidad y duración**

La intensidad y duración de la precipitación están, por lo general, inversamente relacionadas; es decir, las tormentas de intensidad altas probablemente serán de duración corta, y las tormentas de intensidad baja pueden tener una duración larga.

- c) Intensidad y área**

Sobre un área grande la precipitación suele ser menos intensa que sobre un área pequeña.

- d) Tamaño de gota e intensidad**

Las tormentas de intensidad alta tienen un tamaño de gota más grande que las tormentas de intensidad baja.

- **Ventajas**

- Mitiga el polvo atmosférico y limpia el aire.
 - Recarga las acuíferos y reservas de agua.
 - Recupera los servicios ecosistémicos

- **Desventajas**

- Produce erosión del suelo.
- La escasez de la precipitación genera sequias prolongadas.
- Cuando satura el suelo genera huaycos y deslizamientos.

- **Dimensiones**

Su dimensión de la variable es la precipitación pluvial que para el estudio se utilizó a una escala mensual para el cual obtuvimos datos de la precipitación acumulada durante todo el mas.

- **Indicadores**

El indicador principal es la lluvia acumulada mensual es decir la suma total de la precipitación diaria de todo el mes.

- **Escala de medición**

La medición de la precipitación se da en unidades de altura en donde 1 mm de lluvia equivale a un litro por metro cuadrado.

- **Instrumentos**

Se recolecta en un pluviómetro de cuña (el pluviómetro más barato y más frágil), el pluviómetro de cubeta basculante y el pluviómetro pesado. Los pluviómetros de cuña y de cubeta basculante tienen problemas con la nieve. Las tentativas de compensar la nieve o hielo calentando la cuña basculante tienen un éxito limitado, ya que la nieve puede sublimar si el calibrador se guarda por encima de la temperatura de congelación. Los pluviómetros pesados con anticongelante son más apropiados para la nieve, pero hay que quitarles el embudo antes de que comience la precipitación. Para quienes quieren medir la precipitación de una forma casera y económica, es posible hacerlo con una lata cilíndrica con lados rectos, pero su exactitud dependerá de la regla que se use para medir la lluvia. Cualquiera de los pluviómetros mencionados puede ser construido en casa.

La recolección de datos se procesa en una tabla de serie temporal (Anexos) el cual es utilizada por el SENANHI el cual es el ente rector de la administración de los datos recopilados en las estaciones de su red a nivel nacional.

- **Procedimientos**

El procedimiento para obtener esta variable es de medición directa con un instrumento calibrado y que luego es registrado directamente previos sometimientos de los datos recopilados a los controles de calidad para ser registrados

Variable dependiente 1: Fases del ciclo ENOS (El niño-oscilación del sur)

- **Principales conceptos teóricos**

El Niño Oscilación del Sur (ENOS) según Takahashi K. et al. (2014) describieron a este fenómeno que es dependiente de manera fundamental del acoplamiento que existe entre el océano y la atmosfera. Particularmente, el incremento de su fase cálida se desarrolla mediante un proceso que se retroalimenta de manera positiva, el cual consiste en una amplificación constante y mutua entre la precipitación, los vientos del oeste y el incremento de la temperatura del Pacífico ecuatorial, presentándose en tres condiciones diferentes con describimos a continuación.

ENOS: Neutro

Se presentan cuando las condiciones océano atmosféricas en el Pacífico ecuatorial han pasado de una fase fría de ENOS - La Niña a ENOS – Neutro; y se mantiene por un periodo que demora la transición de una fase u otra siendo estas condiciones de normalidad donde la variación de la temperatura superficial del mar se mantiene cercanos al valor de cero es decir no existe variación respecto al promedio de temperaturas en los últimos treinta años.

ENOS: Niño

Esta condición se presenta cuando las condiciones océano atmosféricas en el Pacífico ecuatorial han pasado por encima de una fase de ENOS - Neutro; de acuerdo a los límites que corresponde a los índices oceánico, ICEN, ONI etc., como por ejemplo en el caso del ONI supera el valor de +0.5 y en el caso del ICEN supera +0.4 y se mantiene por un periodo que puede demorar varios meses incrementando su intensidad generando grandes impactos en las costas ecuatoriales y norte del Perú, donde la variación de la temperatura superficial del

mar llega a sus picos más altos, es decir existe una variación creciente respecto al promedio de temperaturas en los últimos treinta años.

ENOS: Niña

De igual manera esta condición se presenta cuando las condiciones océano atmosféricas en el Pacífico ecuatorial han pasado por debajo de una fase de ENOS - Neutro; de acuerdo a los límites que corresponde a los índices oceánico, ICEN, ONI etc., como por ejemplo en el caso del ONI descienda su valor por debajo el valor de -0.5 y en el caso del ICEN desciende por debajo de -1.0 y que se mantiene por un periodo que puede demorar varios meses descendiendo el valor de la temperatura generando grandes impactos en las costas ecuatoriales, norte del Perú y otra latitudes donde la variación de la temperatura superficial del mar llega a si picos más bajos, es decir existe una variación decreciente respecto al promedio de temperaturas en los últimos treinta años.

- **Propiedades**

Según Takahashi K. et al. (2014) “Las propiedades de ENOS, son su periodicidad y magnitud típica que dependen de los valores de los parámetros que caracterizan los diferentes procesos físicos involucrados”

- **Características**

a) Periodicidad: Los eventos ENOS poseen una periodicidad variable donde el ciclo del ENSO se puede dar en un periodo de 2 a 7 años, lo cual muestra una periodicidad muy irregular, pudiendo durar de 12 a 18 meses.

b) Temperatura

El incremento o descenso de la temperatura es el principal resultado del calentamiento y/o enfriamiento en forma recurrente de la superficie superficial del mar sobre el océano en el Pacífico Ecuatorial

c) Vientos

Cuando se presenta un episodio de los eventos ENOS, los vientos alisios que ocurren con normalidad se debilitan generando una reducción el flujo ascendente y esta condición altera a las corrientes de agua del océano Pacífico ecuatorial,

con lo que aumentando la temperatura superficial del mar (TSM), debilitando nuevamente a los vientos alisios.

- **Ventajas**

Una ventaja del ciclo ENOS es que puede condicionar el comportamiento climático y que un pleno conociendo de este ciclo se podría mitigar los efectos o impactos en los países donde se tiene mayor influencia sin embargo apenas se conoce su grado de variabilidad.

- **Desventajas**

La desventaja es que el ciclo ENOS genera un gran impacto en diferentes latitudes, ya que su gran variabilidad del ciclo no permite una interpretación clara y precisa para desarrollar los planes de contingencia y de prevención de desastres.

- **Dimensiones**

Las dimensiones se establecen en los puntos de monitoreo luego de obtenido los valores de incremento de disminución de la variación de la temperatura superficial del mar categorizándose a cada fase como fase fría, fase caliente o fase neutral por lo que se asigna como dimensiones según la condición o fase como El Niño (fase caliente), La Niña (fase fría) y Neutro (fase neutral), categorías que se describen en los conceptos teóricos de esta variable.

- **Indicadores**

Los indicadores de esta variable se refieren al incremento y disminución de la temperatura siendo los niveles de la variación de la temperatura los que establecen las fases, así por ejemplo si se tiene un incremento de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ para el índice oceánico el niño (ONI por sus siglas en inglés) correspondería a una fase El niño o La niña.

- **Escala de medición**

La escala de medición es en grados centígrados $^{\circ}\text{C}$ u otra unidad de medición de la temperatura.

- **Instrumentos**

Las categorías se obtienen de la base de datos de registros de la temperatura superficial del mar de cual se puede clasificar en las tres categorías establecidas en los indicadores para luego se publicado en una serie histórica estableciendo dichas condiciones del ciclo o fases.

- **Procedimientos**

Para determinar esta variable se considera de acuerdo al valor del índice climático según sus límites que establecen la condición o categoría de las fases, según estas categorías podemos relacionar con los datos de las estaciones pluviométricas identificando el año y el mes donde podemos ubicar la condición ENOS ocurrido es esa fecha, y que de acuerdo a los eventos podemos agrupar a los datos de la precipitación en función a los eventos ENOS obteniéndose grupos de datos de precipitación para la condición de fase fría (La Niña), fase caliente (El Niño) y la fase neutral (Neutro).

Variable dependiente 2: Relación existente entre los índices de teleconexión (ENOS) y la precipitación pluvial Principales conceptos teóricos

- **Principales conceptos teóricos**

Estadística Descriptiva

Para poder realizar el análisis de los índices climáticos con relación a las precipitaciones pluviales y encontrar una relación entre ellos, se ha utilizado el coeficiente de correlación de Pearson el cual es un coeficiente muy empleado en estadística descriptiva para relacionar dos variables.

De otro lado, podemos mencionar que la estadística descriptiva se encarga de analizar datos de manera exploratoria para lo cual reúne un numeroso conjunto de técnicas estadísticas basados en modelos matemáticos siendo estas diseñadas para ordenar, organizar, mostrar, determinar y describir un determinado grupo de datos, con la finalidad de simplificar su uso. Para ello recurre a la utilización de ábacos, tablas, mediciones numéricas o gráficos como un apoyo para su interpretación de los grupos de datos analizados

Coeficiente de correlación de Pearson

Se utiliza para analizar la existencia de alguna relación (o correlación) entre dos variables aleatorias cuantitativas; como, por ejemplo, la relación entre la precipitación mensual y los índices climáticos de teleconexión (Latinez, 2010).

Esta medición de correlación nos brinda una información respecto de la intensidad y la tendencia de la relación entre las dos variables. Es decir, que se trata de obtener un valor o índice que cuantifica el grado de la correlación o covariación entre las variables que se relacionan linealmente.

Debemos aclarar que la diferencia existente entre la relación, la correlación o la covariación entre las dos variables analizados y la causalidad que también podemos llamarle pronóstico, predicción o regresión, ya que estos conceptos son diferentes, es decir la correlación no necesariamente implica causalidad.

- **Propiedades**

La propiedad principal del coeficiente de correlación de Pearson es la capacidad de relacionar dos variables en diferentes grados de correlación con una intensidad y direccionalidad.

- **Características**

a) Intensidad: Indica la fuerza de relación que existe entre los dos grupos de variables aleatorias donde se puede indicar si la relación de estrechamiento es débil o fuerte entre las variables analizadas.

b) Direccionalidad: Indica la dirección de la tendencia que existe entre los dos grupos de variables aleatorias donde la tendencia puede ser positiva si la relación es creciente, y si la tendencia es negativa la relación es decreciente. Un valor de cero o nulo indica que no existe ninguna tendencia entre las dos variables (puede ocurrir que no exista relación o que la relación sea más compleja que una tendencia, por ejemplo, una relación en forma de U)

- **Ventajas**

Esta variable ofrece como ventaja discriminar entre dos variables la posibilidad de establecer una relación de correspondencia para poder pronosticar valores dentro de los rangos e intervalos de las variables cuantitativas.

Otra de las ventajas de este coeficiente es la independencia de cualquier unidad de medida analizada. Si el tamaño de muestra es muy grande, la probabilidad de exactitud en la estimación sea alta.

- **Desventajas**

La desventaja es que dos variables de análisis sean medidas a un nivel cuantitativo continuo.

Otra de las desventajas es que la distribución de los datos de las variables debe asemejarse a la curva normal

- **Dimensiones**

El coeficiente de correlación de Pearson es la prueba que mide la relación que existe entre dos variables continuas estadísticamente analizadas. Si esta variable la relación entre los datos de las variables no cumple una linealidad, entonces el coeficiente no es representativo.

- **Indicadores**

El coeficiente de correlación de Pearson toma un rango de valores de +1 a -1, para indicar el grado de correlación existente entre las dos variables.

- **Escala de medición**

Para la interpretación de la intensidad de la correlación utilizamos el criterio de Cohen (1988) mencionado por Ventura-León & Caycho (2017) indicando que, para valores lo absolutos del coeficiente de Pearson nos indica la siguiente escala por la intensidad

- De 0.1 a 0.3 representan un efecto **pequeño**,
- De 0.3 a 0.5 un efecto **medio** y
- Mayor o igual a 0.5 un efecto **grande**.

Tabla 6. Grado de correlación Pearson.

Valor del Coeficiente de Pearson	Grado de Correlación entre las Variables
$r = 0$	Ninguna correlación
$r = 1$	Correlación positiva perfecta
$0 < r < 1$	Correlación positiva
$r = -1$	Correlación negativa perfecta
$-1 < r < 0$	Correlación negativa

Fuente: Internet (2021).

Podemos establecer también al coeficiente de Pearson en una escala por el grado de la tendencia (Tabla 6).

Estos valores son arbitrarios, pero nos pueden servir de guía, dentro del contexto de la investigación para interpretar la intensidad (o fuerza) de la correlación, teniendo en cuenta que no es lo mismo analizar los datos de un experimento físico controlado donde existe una menor dispersión, que analizar datos aleatorios donde esperamos encontrar valores muy bajos de correlación debido a la gran inmensa cantidad de la dispersión o la variabilidad de los datos analizados.

• Instrumentos

El coeficiente de correlación se determina por un conjunto de técnicas estadísticas basados en modelos matemáticos siendo estas diseñadas para ordenar, organizar, mostrar, determinar y describir la relación existente entre un grupo determinado de datos, con la finalidad de simplificar su uso y a la confiabilidad deseada.

• Procedimiento

Para la obtención de esta variable se han utilizado las variables independientes como son los índices climáticos (ICEN y ONI) para relacionarlos con los grupos de precipitación clasificados según la categoría ENOS con los cuales se ha podido establecer las variables de correlación y el coeficiente de Pearson para establecer el cumplimiento del objetivo específico 2.

Variable dependiente 3: Precipitación areal en la zona de influencia del estudio para el periodo de 1964-2020.

- **Principales conceptos teóricos**

Precipitación Areal (lluvia acumulada mensual)

Para los estudios hidrológicos es de suma necesidad conocer la precipitación que represente a una unidad hidrográfica y no en cualquier punto determinado como lo es la información que se dispone en las estaciones pluviométricas. Para determinar la precipitación areal se dispone de una serie de estaciones pluviométricas que se distribuye a lo largo de las unidades hidrográficas (con cierto grado de homogeneidad que puede ser mayor o menor) y que solamente son una muestra representativa de la precipitación que recibe una cuenca.

Por lo que la precipitación areal es un dato representativo de una cuenca a partir de la información proporcionadas por las estaciones pluviométricas previo tratamiento de la calidad de los datos, así como sus análisis de homogeneidad, consistencia.

- **Propiedades**

Las precipitaciones pluviales areales también tienen la propiedad de ser aleatorias y responden al comportamiento de los datos de donde provienen esta información a partir de las estaciones cercanas conservando sus características estadísticas con las que se ha procesado la información pluviométrica.

- **Características**

La característica principal de esta variable es la representación del valor de la precipitación en toda la cuenca de análisis es decir es el promedio de la precipitación para toda la cuenca. Es decir, este valor cuantifica con un valor único a la precipitación caída en el área con un intervalo de tiempo determinado.

- **Ventajas**

Una de las ventajas es la utilización de este valor medio para la generación de datos de precipitación mensualizados para los estudios hidrológicos y a partir de estos datos se generan los caudales en la cuenca de análisis.

- **Desventajas**

Existe mucha incertidumbre a momento de calcular el valor ya que se basa en métodos estadísticos de correlación, sin embargo, al momento de su transposición existen muchas variables metereológicas no consideradas que condicionan las precipitaciones en cada cuenca hidrográfica y depende mucho de la calidad de la información de las estaciones utilizadas para su determinación.

- **Dimensiones**

La dimensión de esta variable es la **Precipitación Areal (lluvia acumulada mensual)** que representa a la precipitación acumulada mensual en un área específica.

- **Indicadores**

Es la precipitación mensual areal generada por métodos estadísticos y estocásticos en una estación metereológica también areal generada en la ubicación de la presa Rontoccocha estimada en milímetros de altura de agua (mm)

- **Escala de medición**

Precipitación sobre un área específica, expresada como la altura media de la lámina de agua sobre dicha superficie.

- **Instrumentos**

La precipitación areal se determina por un conjunto de técnicas estadísticas basados en modelos matemáticos siendo estas diseñadas para ordenar, organizar, mostrar, determinar y describir el comportamiento de los datos de precipitación en un área específico, con la finalidad de obtener información pluviométrica que caracteriza a una cuenca hidrográfica.

- **Procedimientos**

Para la obtención de esta variable se han utilizado las variables independientes de la precipitación que más se ajustó a una variabilidad existente entre las precipitaciones y los índices climáticos de teleconexión con los que se estableció

los datos a utilizar de las estaciones pluviométricas y a la vez correlacionar las estaciones en función a la relación existente entre la precipitación media de cada estación y su altitud en las estaciones consideradas en el estudio para luego determinar la precipitación media areal en la zona de estudio y a partir de ellas generar los datos de precipitación área mensualizado en el periodo de análisis (Amaya Meléndez et al, 2019).

Variable dependiente 4: Comportamiento hidrológico de los volúmenes generados y la disponibilidad del volumen del embalse de la presa Rontoccocha.

- **Principales conceptos teóricos**

Volumen de Almacenamiento

Para la determinación del volumen de almacenamiento el cual es una decisión de mayor incidencia en proyectos de regulación hídrica para fines de riego, consumo de agua potable, generación de energía. Es necesario aplicar los criterios para el establecimiento del tamaño o volumen que sean óptimos y que derivan de muchos factores como son hidrológicos, morfológicos, geotécnicos topográficos, climáticos, económicos y de seguridad. Para la determinación de la capacidad de almacenamiento se realizará un estudio hidrológico en el que se analizara el régimen de aportes de agua, así como la disponibilidad y lo más importantes la demanda el cual es la finalidad del proyecto, y que estos se deberán concretar una vez construido el embalse. Para el caso de demandas de uso de agua para consumo poblacional será necesario conocer el comportamiento demográfico y dar importancia al sector productivo industrial, así como también la estimación de las necesidades de demanda de la evolución durante la vida útil del represamiento. Desde ya es necesario conocer con cierta confiabilidad las disponibilidades respecto al manejo de los recursos hídricos y comparándolas con las necesidades de demanda se obtendrá el volumen requerido de agua a represar.

Ecuación de balance hídrico en los embalses.

Para el balance general de las lagunas, se han considerado los caudales de ingreso aguas arriba del embalse, así también se han adicionado o descontado el balance entre la evaporación y la precipitación en el área del espejo de agua en el mes considerado.

A continuación, mostramos la expresión para el cálculo del volumen de ingreso o salida en el mes:

$$V_{is_net} = \frac{(Q_{ing}) * N_{dias} * 86400 + (P - E) * A * 10^4}{10^6}$$

Donde:

V_{is_net}	=	Volumen de ingreso neta en el mes [Hm^3]
Q_{ing}	=	Caudal generado para la cuenca de cada [m^3/s]
N_{dias}	=	Número de días en el mes considerado
P	=	Precipitación sobre el embalse en el mes considerado [mm]
E	=	Evaporación en el embalse en el mes considerado [mm]
A	=	Área del espejo de agua del embalse [km^2]

Considerando el volumen de ingreso y salida de la laguna, se realiza el balance de masas hídricas, cuya expresión utilizada es la siguiente:

$$V_i = V_{is_net} - \frac{(Q_{T\&O_Alfa} + Q_{T\&O_Allcco} - Q_{Sal} * N_{dias} * 86400)}{10^6} + V_{i-1}$$

Donde:

V_i	=	Volumen total de almacenamiento en el mes (Hm^3)
V_{is_net}	=	Volumen de ingreso y salida neta en el mes (Hm^3)
Q_{Sal}	=	Caudal de salida regulado en el embalse (m^3/s)
$Q_{T\&O_Alfa}$	=	Caudal de ingreso transitado y operado del embalse Alfallaccocha (m^3/s)
$Q_{T\&O_Allcco}$	=	Caudal de ingreso transitado y operado del embalse Allcoccocha (m^3/s)
V_{i-1}	=	Volumen de almacenamiento en el mes anterior (Hm^3)

Se considera un caudal mínimo como caudal de salida regulado para garantizar el 10% del caudal medio mensual en el embalse Rontoccocha. Así mismo el caudal de salida regulado (Q_{Sal}), se establece en función a la demanda requerida

para agua potable y de riego abasteciendo ala cuenca media y baja en cumplimiento a los acuerdos suscritos ante las autoridades.

Indicadores de performance de operación del embalse

Para garantizar una operación optima y adecuada del sistema de embalse y que cubra con los requerimientos de las demandas de uso consuntivo y no consuntivo en la cuenca media y baja, se consideró algunos indicadores de gestión para la presa.

Para garantizar el abastecimiento de agua potable y riego aguas abajo de la laguna

$$I_{DRM} = \frac{(NM_{DEFICIT})}{NT_{MESES}}$$

I_{DRM} = Indicador del déficit de riego y agua mensual (%)

$NM_{DEFICIT}$ = Número de meses con déficit

NT_{MESES} = Número total de meses de operación

$$I_{DRA} = \frac{(NA_{DEFICIT})}{NT_{AÑOS}}$$

I_{DRA} = Indicador del déficit de riego anual (%)

$NA_{DEFICIT}$ = Número de años con déficit

$NT_{AÑOS}$ = Número total de años de operación

Para evaluar la frecuencia de llenado del embalse

$$I_{RNLA} = \frac{(NM_{RNL})}{NT_{AÑOS}}$$

I_{RNLA} = Indicador de recuperación del nivel de la laguna anual (%)

$NMRNL$ = Número de años de recuperación del nivel de laguna

NT_{MESES} = Número total de años de operación

Para garantizar el caudal ecológico

$$I_{QE} = \frac{(NM_{QE})}{NT_{MESES}}$$

I_{QE} = Indicador de déficit en el caudal ecológico mensual (%)

$NMRNL$ = Número de meses de déficit en el caudal ecológico

NT_{MESES} = Número total de meses de operación

- **Propiedades**

Las propiedades principales de un embalse generado son:

Regular los caudales de un río dosificando la cantidad en épocas de estiaje y demanda hídrica según la necesidad y a la vez almacenar los volúmenes generados en la época de lluvias.

Regular las máximas avenidas donde se producen los caudales máximos con la finalidad de controlar cualquier amenaza aguas abajo y posibles desborde e inundaciones en la parte baja, así como también controlar la erosión producido por los caudales máximos.

Los embalses tienen la propiedad de cambiar el aspecto paisajístico creando nuevos espacios de esparcimiento y parques acuáticos, así como también la innovación de la producción de la acuicultura.

- **Características**

Las principales características de un represamiento son las curvas entre la cota y el volumen, la curva entre la cota y la superficie del volumen ocupado y también los caudales de ingreso y el caudal de regulación.

En función a las características geomorfológicas de la cuenca, las áreas a inundar pueden ocupar zonas con asentamientos humanos y áreas de cultivo para la agricultura. Siendo así se debe evaluar las ventajas y posibles inconvenientes que requieren un estudio de impacto ambiental.

El caudal de operación de embalse es una principal característica de los embalses que deben ser programados de acuerdo a la demanda y mes de requerimiento del recurso hídrico, así como para mantener el equilibrio ecológico aguas abajo y no generar impactos negativos al medio ambiente.

- **Ventajas**

La capacidad que ofrecen para generar un volumen disponible de agua en épocas donde no se cuenta con precipitaciones pluviales

La recarga de los acuíferos que afloran en las zonas bajas incrementando el rendimiento de los manantes y ríos.

El acondicionamiento de nuevos microclimas en la zona del vaso de la presa generando una dinámica en el movimiento ecológico generando la presencia de muchas especies naturales en la zona del embalse.

La generación de actividades productivas como la producción de energía eléctrica y acuicultura

- **Desventajas**

Perdidas por la inundación de áreas destinadas a los servicios de agricultura, vías de transporte e infraestructura poblacional.

El embalse depende de las lluvias y a su vez afecta a los usuarios del embalse como centrales hidroeléctricas, consumo humano, riego de cultivos etc.

La presa depende de la ubicación geológica, ya que puede poner en riesgo las poblaciones e infraestructura aguas abajo.

- **Dimensiones**

El Volumen útil de embalse (m^3) es el volumen de agua producido por los caudales generados en un año normal en la zona de influencia del sistema hídrico de la presa Rontoccocha

- **Indicadores**

Los volúmenes característicos de los represamientos se asocian a los niveles de embalse que posee una represa así podemos definir que:

a) El Volumen muerto: está definido como el volumen represado hasta alcanzar el nivel mínimo considerado para los volúmenes de operación y volúmenes de sedimentos producidos en la cuenca y arrastrados al fondo del embalse.

b) Volumen útil: está definido entre el nivel mínimo y el nivel máximo volumen de operación que responde a las necesidades de demanda para que fue diseñado el embalse.

c) Volumen de laminación: está definido como el volumen entre el nivel máximo de operación y el nivel máximo normal. Este volumen se utiliza para atenuar el

caudal que se vierte en épocas de avenidas, para mitigar los posibles impactos negativos aguas abajo.

- **Escala de medición**

El volumen del agua contenida en un represamiento es medido en unidades de volumen como metros cúbicos (m^3) o en hectómetros cúbicos (hm^3) donde 1 hectómetro cubico corresponde a 1.000.000 metros cúbicos.

- **Instrumentos**

El volumen útil de almacenamiento se determina por un conjunto de técnicas estadísticas basados en modelos matemáticos, siendo estas diseñadas para ordenar, organizar, mostrar, determinar y describir el comportamiento de los volúmenes generados, con la finalidad de obtener información de la variabilidad de los volúmenes con fines de una regulación hídrica que constituye la operación de embalse de una presa.

- **Procedimientos**

Para la obtención de esta variable se han utilizado los datos de precipitación areal generados en la ubicación del sistema de represamiento con el cual se generó los caudales en la zona de estudio los que constituyen el caudal de ingreso al represamiento con el que se determinó los volúmenes de embalse producido por la cuenca, considerándose además los factores climáticos e hidrológicos para determinar el caudal mediante modelos determinísticos y estocásticos, así mismo para determinar los volúmenes de operación se requiere realizar un balance hídrico en la presa considerando las pérdidas por evaporación e infiltración y también la demanda hídrica dependiendo del usuario pudiendo ser para la generación de energía o para riego o también para consumo humano (Agua potable), para luego determinar los caudales de salida o de operación de embalse programado a lo largo de un ciclo anual.

III. METODOLOGIA

3.1 Tipo y Diseño de la Investigación

3.1.1 Tipo de estudio

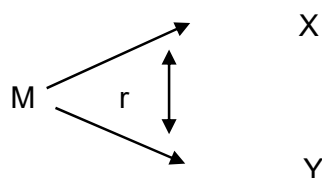
Es descriptiva correlacional no experimental.

3.1.2 Diseño de investigación

El diseño de la presente investigación es de tipo *no experimental* debido a que no se manipulan las variables y que estas son recopiladas en su estado o ambiente natural, por lo que ninguna de las variables fue inducida o provocada para su obtención.

El estudio es a su vez de tipo *longitudinal*, ya que la recolección de información se realizó en varios momentos desde el año 1964 al 2020, además es *post facto*, puesto los datos que se recopilan corresponde a una información histórica.

El diseño presenta el siguiente esquema:



Donde:

M: Muestra del estudio (Medición promedio mensual).

X: Observación de la variable 1: Índice Costero El Niño (ICEN) y Índice Oceánico El Niño (ONI)

Y: Observación de la variable 2: variabilidad climática (Precipitación)

r: Relación entre las variables estudiadas

3.2 Variables y operacionalización

3.2.1. Identificación de variables

Variables Independientes (VI)

Variable independiente 1: Índices de Teleconexión (ENOS)

Dimensión 1.1 Índice Costero El Niño (ICEN)

Dimensión 1.2 Índice Oceánico El Niño (ONI)

Variable independiente 2: Precipitación pluvial

Dimensión 2.1 Precipitación mensual acumulada

Variables dependientes (VD)

Variable dependiente 1: Fases del Ciclo **ENOS (El Niño-Oscilación del Sur)**

Dimensión 1.1 Niño (Fase cálida)

Dimensión 1.2 Niña (Fase fría)

Dimensión 1.3 Neutro (Fase de condición normal)

Variable dependiente 2: Relación que existe entre los índices de
teleconexión (ENOS) y la precipitación pluvial

Dimensión 2.1 Coeficiente de correlación

Variable dependiente 3: Precipitación areal en la zona de estudio

Dimensión 3.1 Precipitación mensual areal

Variable dependiente 4: Comportamiento hidrológico de los volúmenes
generados y la disponibilidad del volumen del
embalse de la presa

Dimensión 4.1 Volumen de almacenamiento

3.2.2. Operacionalización de variables

La operacionalización de variables se desarrolló a partir de la matriz de consistencia definiendo las variables e indicadores (Tabla 7) y las consideraciones básicas de la metodología del estudio realizado.

3.3 Población, Muestra y Muestreo

3.3.1. Población

Para el presente estudio la población se constituirá por las mediciones históricas mensuales de la precipitación total mensual de la precipitación acumulada durante el mes, ya que la unidad de estudio cronológico es el mes en las estaciones cercanas a la zona de estudio, información recopilada en el periodo de 1964 al 2020. Y los valores del índice costero El Niño (ICEN) así como del Índice Oceánico de El Niño (ONI) desde 1964 al 2020.

Tabla 7. Cuadro de operacionalización de variables.

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICION CONCEPTUAL	DIFINICION OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADORES	ESCALA	METODOLOGIA
VARIABLES INDEPENDIENTES						
Índices de teleconexión	Las teleconexiones atmosféricas son cambios en el patrón de circulación atmosférica a nivel global como respuesta a las anomalías convectivas en el Pacífico Ecuatorial (Quiroz, 2018)	Los índices de oscilación del sur, se obtiene de la medición de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) que ocurre en las regiones de monitoreo 1.2 y 3.4 que confirman las características consistentes de los fenómenos oceano-atmosféricos que ocurren en los estos periodos. El valor obtenido es el resultado de promedio trimestral de las variaciones de la temperatura media.	Índice Costero El Niño (ICEN)	Promedio trimestral de la variación de la temperatura superficial del mar (Región Niño 1-2) en °C	INTERVALO	A. LINEA DE INVESTIGACION: Diseño de obras hidráulicas y saneamiento B. DISEÑO DE INVESTIGACION: No experimental C. TIPO DE INVESTIGACION: Descriptivo - Longitudinal
			Índice Oceánico El Niño (ONI)	Promedio trimestral de la variación de la temperatura superficial del mar (Región Niño 3-4) en °C		
Precipitación Pluvial	Proceso meteorológico donde el vapor de agua (nubes) se condensa formando gotas de agua precipitando a tierra en forma de lluvia; se mide en un pluviómetro y sus unidades son en milímetros de altura de agua (mm)	La obtención de la precipitación se da en milímetros de agua, o litros caídos por unidad de superficie (m ²), es decir, la altura de lámina de agua recogida en una superficie plana midiéndose en mm o l/m ² . (Villon, 2006)	Precipitación pluvial	Es la medición de la lluvia acumulada mensual en una estación meteorológica o pluviométrica en (mm)		D. POBLACION: Mediciones históricas mensuales de la precipitación total mensual de las estaciones de Apurímac período 1964-2020 Valores del índice costero El Niño (ICEN) así como del Índice Oceánico de El Niño (ONI) período 1964 al 2020. E. MUESTRA: la muestra es de tipo censal ya que se consideró todas las mediciones históricas disponibles.
VARIABLES DEPENDIENTES						
Fases del ciclo ENOS (El niño-oscilación del sur)	"El Niño-Oscilación del Sur", ENOS o ENSO es un patrón climático que consiste en la oscilación de los parámetros meteorológicos del Pacífico Ecuatorial cada cierto período de tiempo.	Los grupos o categorías del ENOS se obtiene de las variables usadas como indicadores de los cambios en el océano pacífico, los cuales son anomalías de la temperatura de la temperatura superficial del mar en el Pacífico central este, denominada Niño 3.4 y en la costa norte del Perú Niño 1.2 y dichas variables establecen las condiciones cálidas y frías para establecer las categorías según el incremento de la temperatura superficial del mar.	Niña	Condición de enfriamiento en un valor igual o menor a -0.5 °C de la TSM en las zonas de monitoreo 3-4 y 1-2, medido como el promedio trimestral en °C	NOMINAL	F. MUESTREO: Los datos fueron analizados mediante pruebas estadísticas y de correlación lineal TECNICA: Para el presente estudio la técnica empleada es de tipo documental debido a que los datos tomados son de los registros y reportes del SENAMHI (Estaciones Apurímac), ENFEN, y NOAA.
			Niño	Condición de calentamiento en un valor igual o mayor a +0.5 °C de la TSM en las zonas de monitoreo 3-4 y 1-2, medido como el promedio trimestral en °C		
			Neutro	Condición de calentamiento o enfriamiento en valores mayores a -0.5 °C y menores a +0.5 °C de la TSM en las zonas 3-4 y 1-2 de monitoreo, medido como el promedio trimestral en °C		
Relación que existe entre los índices de teleconexión (ENOS) y la precipitación pluvial	El coeficiente de correlación de Pearson es una medida de dependencia lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas.	La relación de dependencia se obtiene a partir de la correlación estadística entre las variables de los índices de teleconexión y las precipitaciones pluviales siendo este un número adimensional.	Coeficiente de correlación	Parámetro estadístico de correlación de significancia entre +1 y -1.		
Datos obtenidos de precipitación areal en la zona de influencia del estudio para el período de 1964-2020.	La precipitación mensual areal es el valor obtenido sobre un área específica, expresada como la altura de la lámina de agua en milímetros (mm)	La precipitación areal mensualizada se obtiene a partir de la regionalización de los datos de precipitación en las estaciones vecinas con series históricas completadas y extendidas para el período de análisis.	Precipitación Areal (lluvia acumulada mensual)	Es la precipitación generada por métodos estadísticos y estocásticos en una estación meteorológica areal generada en la ubicación de la presa Rontoccocha (mm)	INTERVALO	
Comportamiento hidrológico de los volúmenes generados y la disponibilidad del volumen del embalse de la presa Rontoccocha.	El régimen del comportamiento hidrológico de la precipitación permite la generación de caudales mínimos y máximos para determinar la simulación de embalse para evaluar el volumen útil de la presa.	El volumen útil de almacenamiento se obtiene a partir de la generación de caudales producidos por el régimen hidrológico de las precipitaciones areales generadas en el área de embalse de estudio.	Volumen útil de embalse (m ³)	Es el volumen de agua producido por los caudales generados en un año normal en la zona de influencia del sistema hídrico de la presa Rontoccocha (m ³)		

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Muestra

Para el estudio se consideró todas las mediciones históricas disponibles correspondientes al periodo de estudio, por lo tanto, la muestra es de tipo *censal*. Ya que se han considerado la totalidad de datos obtenidos durante la determinación de la población.

3.3.3. Muestreo

Los datos utilizados tuvieron un tratamiento estadístico con pruebas de significancia, pruebas de homogeneidad, de tendencia y de correlación lineal de Pearson.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.4.1. Técnica

Para el presente estudio la técnica empleada es de tipo documental debido a que los datos tomados son de los registros y reportes del SENAMHI (Estaciones Apurímac), ENFEN, NOAA.

3.4.2. Instrumentos

El instrumento para la recolección documental de datos de la precipitación es la ficha de registro de datos del SENAMHI, ENFEN y NOAA, con sus respectivos formatos en el que se publican la información histórica, ya sea datos diarios, mensualizados y anualizados, por lo que en esta tesis se consideró la información histórica de datos mensualizados ya que la unidad de análisis es el mes.

Los instrumentos utilizados para la recopilación de la información se encuentran establecidos por el Servicio Nacional de Meteorológica e Hidrología SENAMHI, los cuales son utilizados ampliamente en los diversos estudios e investigaciones de los cuales se han recopilado de los estudios, informes, boletines y del portal institucional de dicha institución ya que en el Perú es el ente rector para la administración de datos meteorológicas y pluviométricos.

3.5 Procedimientos.

La información de los índices de teleconexión “El Niño” como son el Índice Oceánico El Niño (ONI) y el índice costero El niño (ICEN) han sido obtenidas de portal de La administración para el Océano y la Atmosfera de los Estados Unidos de Norteamérica (NOAA), así como el Índice Costero El niño que fue obtenido

del portal del comité multisectorial encargado de estudio del fenómeno El Niño (ENFEN).

Los datos de la precipitación corresponden a las estaciones meteorológicas ubicadas en el departamento de Apurímac, (Estaciones de Abancay, Andahuaylas, Chalhuanca, Curahuasi, Tambobamba y Curpahuasi), obteniéndose de la base de datos del SENAMHI a través de su portal y de los reportes publicados en los diferentes estudios de investigación y proyectos de inversión pública y privada en el departamento de Apurímac. La disponibilidad de los datos ayuda al análisis del comportamiento de la precipitación ante la presencia de los índices de teleconexión “El Niño”, a través de relaciones matemáticas y estadísticas (regresión lineal) y que dicha información servirían como herramienta para establecer, si los cambios que suceden en la zona de estudio pudieran considerarse como variaciones aleatorias naturales de carácter local o si existe influencia directa de la presencia de la variación de los índices de teleconexión El Niño, para fines de completar datos faltantes en las series históricas de la precipitación.

3.6 Métodos de análisis de datos.

Los datos recopilados se han analizado por los diferentes métodos estadísticos determinísticos, probabilísticos y estocásticos con la finalidad de realizar los ajustes y su respectiva validación estadística y que a partir de dichos datos analizados, nos han permitido inferir los resultados del estudio, generándose así los valores aproximados de las precipitaciones y los volúmenes de acuerdo con el comportamiento del medio natural de la lluvia y sus implicancias en la generación de los volúmenes para almacenar la presa Rontoccocha. Ver figuras del 6 al 10 donde se detallan mediante gráficos de diagramas de flujo del desarrollo de la metodología empleada en el presente estudio para cada objetivo específico siendo para el objetivo específico 1 (Figura 6) se muestra la metodología desarrollada para el análisis exploratorio de las fases según el índice ONI e ICEN. Para el objetivo específico 2 (Figura 7) se muestra la metodología desarrollada para evaluar la variabilidad entre los índices de teleconexión y la precipitación mensual. Así también para el objetivo específico 3 (Figura 8) se muestra la metodología desarrollada para la completación y extensión de datos de la precipitación y generación de datos de precipitación en las estaciones

areales en la zona de estudio. Y finalmente para el objetivo específica 4 (Figura 9 y 10) se muestran la metodología desarrollada para la generación de caudales en la zona de estudio y la metodología desarrollada para la evaluación de los volúmenes de operación del sistema de almacenamiento Rontoccocha.

3.7 Aspectos éticos.

El procedimiento de los datos se ha realizado bajo los principios y fundamentos de la estadística descriptiva y estocástica, a partir de los datos observados y almacenados en la base de datos de las series históricas que, en el Perú, el ente rector es el Servicio Nacional de Meteorológica e Hidrología SENAMHI, y que estas series históricas son reportados y publicados en su portal, en estudios de investigación y proyectos de inversión pública siendo estos de carácter nacional, regional y local. Y dada la cantidad de información de dichos datos estos se han revisado y corroborado su confiabilidad para luego procesar de acuerdo a los fundamentos de los conceptos estadísticos e hidrólogos para obtener los resultados que nos brindan estas herramientas previamente validadas por la comunidad científica utilizados en el presente estudio de investigación de acuerdo a las normas técnicas y consideraciones recomendadas por la Organización Mundial de Meteorológica y por el Servicio Nacional de Meteorológica e Hidrología, así como reconocidos autores de libros y estudios de la bibliografía especializada ante la existencia de muchísima información de métodos y modelos hidrológicos a nivel nacional e internacional.

Así mismo durante el proceso de elaboración de la tesis se ha sometido a las pruebas autoplagio respectivo que brinda la universidad, el cual nos da la constancia de que el trabajo fue realizado considerando las consideraciones éticas en el desarrollo del estudio.

Metodología objetivo específico 1

ANALISIS EXPLORATORIO DE LA PRECIPITACION CON LOS INDICES DE TELECONEXION

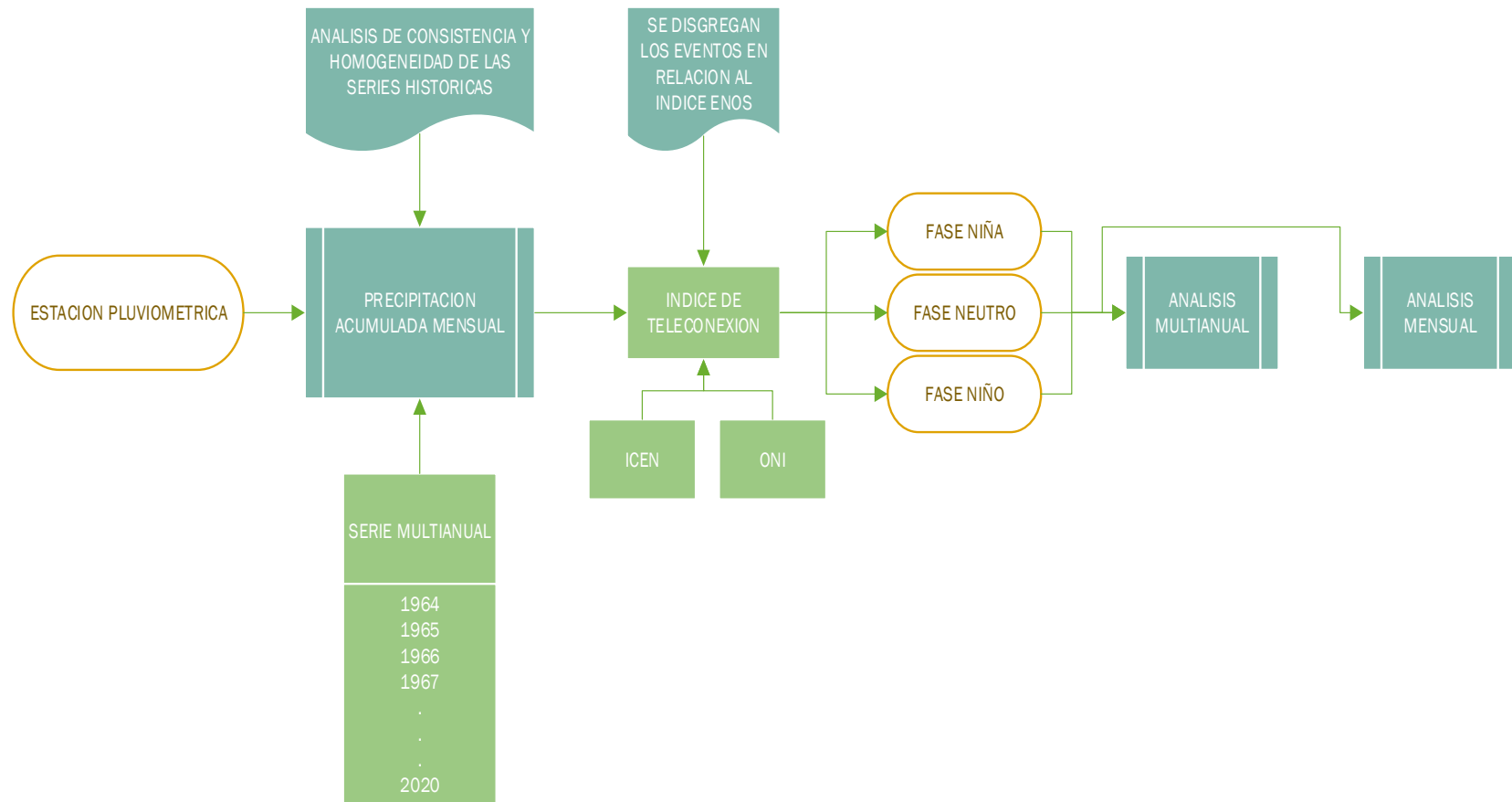


Figura 6. Metodología desarrollada para el objetivo específico 1.

Fuente: Elaboración propia

Metodología objetivo específico 2

EVALUACION DE LA RELACION ENTRE LOS INDICES DE TELECONEXION Y LA PRECIPITACION MENSUAL

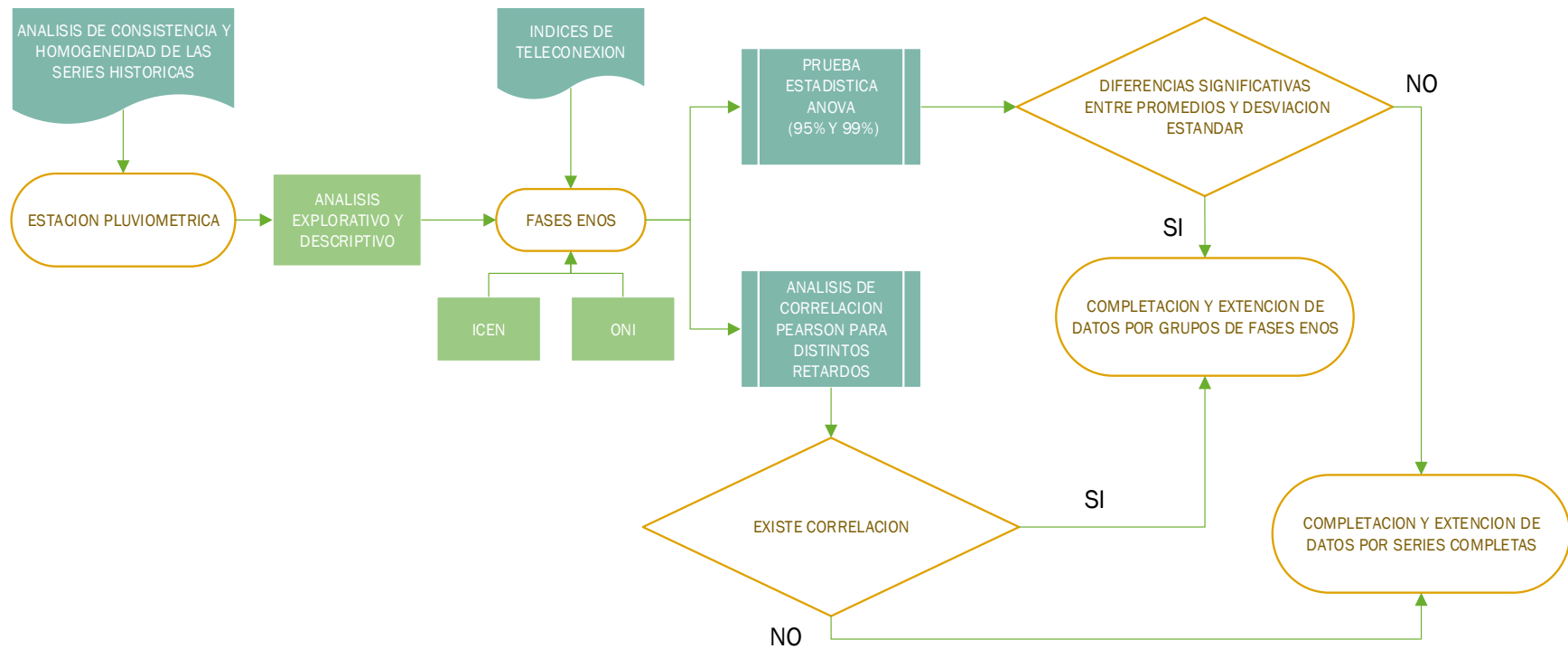


Figura 7. Metodología desarrollada para el objetivo específico 2.

Fuente: Elaboración propia

Metodología objetivo específico 3

GENERACION DE DATOS DE PRECIPITACION AREAL EN LA ZONA DEL PROYECTO

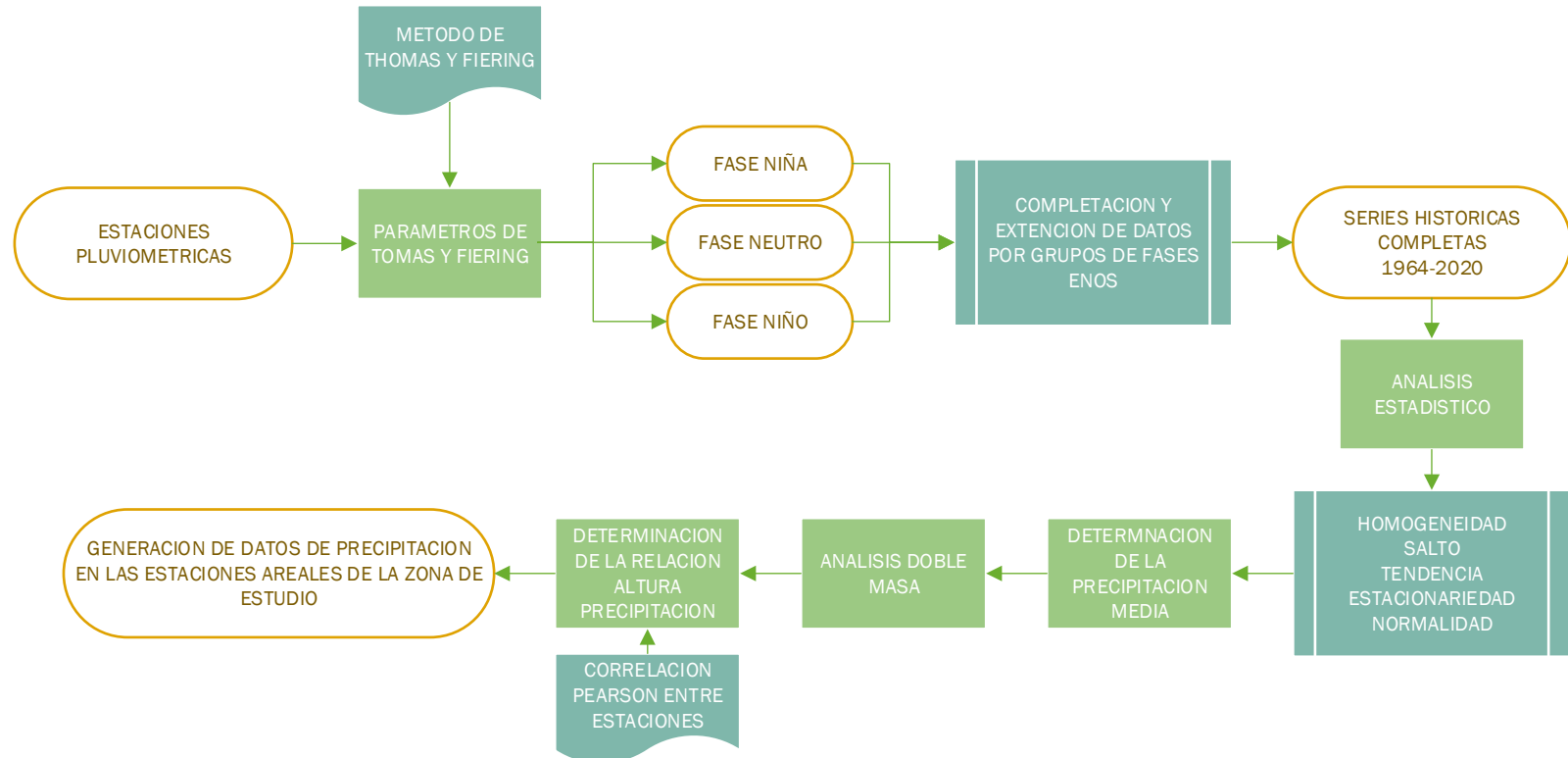


Figura 8. Metodología desarrollada para el objetivo específico 3.

Fuente: Elaboración propia.

Metodología objetivo específico 4 (Primera parte)

GENERACION DE CAUDALES EN PERIODO EXTENDIDO EN LAS ZONAS DE ESTUDIO

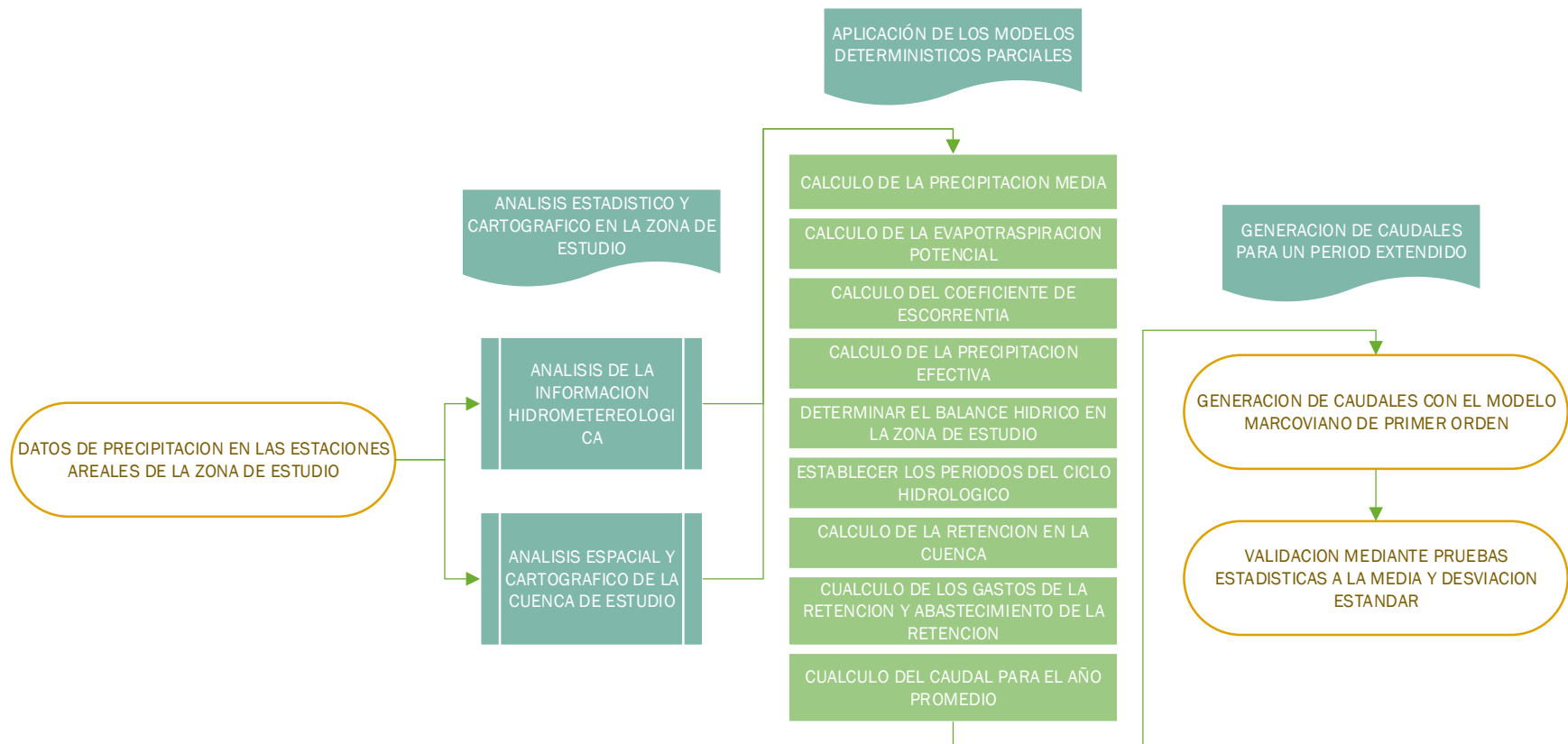


Figura 9. Metodología desarrollada para el objetivo específico 4 (Generación de caudales).

Fuente: Elaboración propia.

Metodología objetivo específico 4 (Segunda parte)

EVALUACION DE VOLUMENES GENERADOS EN EL EMBALSE RONTOCOCHA

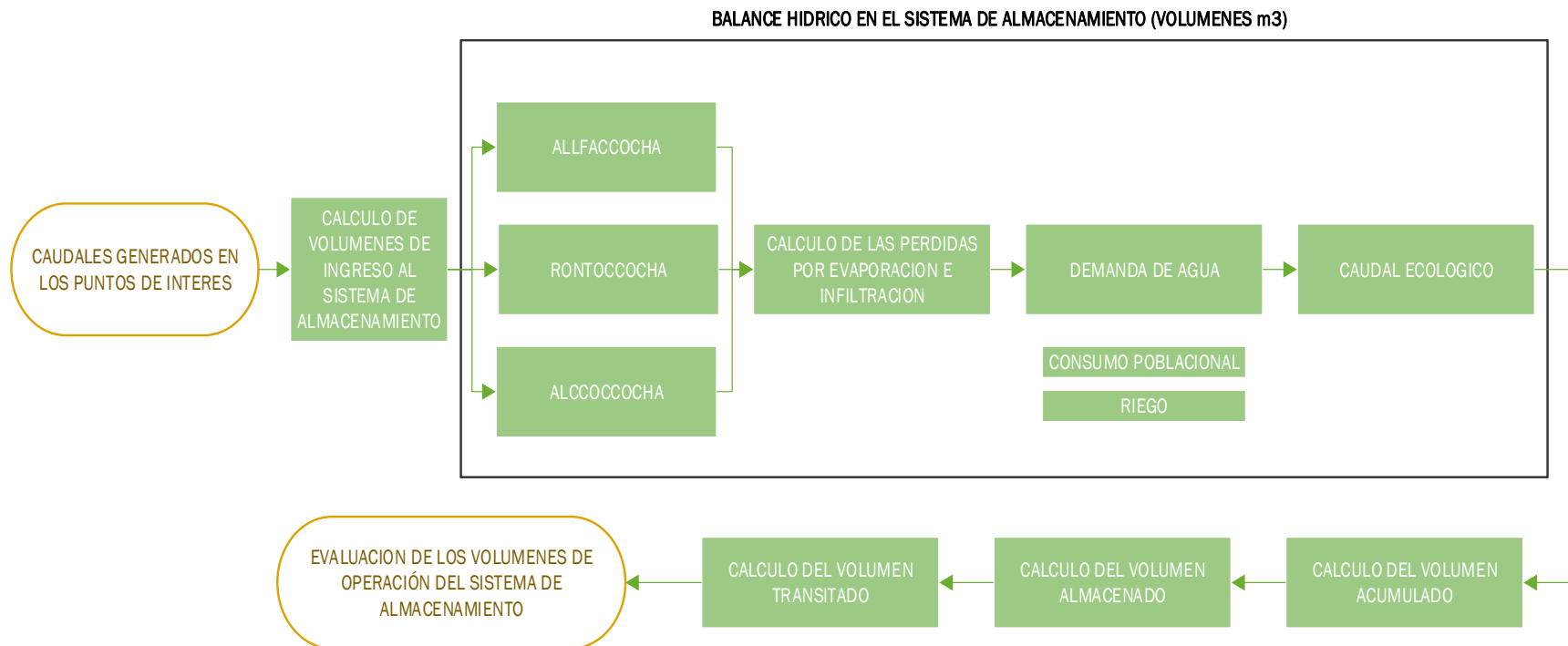


Figura 10. Metodología desarrollada para el objetivo específico 4. (Evaluación de embalse).

Fuente: Elaboración propia.

IV. RESULTADOS

4.1 Análisis de los índices de teleconexión

4.1.2 Índice Costero El Niño ICEN

(Takahashi et al, 2014) indica que en el Perú es uno de los pocos países en el mundo que requiere dos índices para el monitoreo de El Niño debido a que tiene tanto impactos locales (lluvias en la costa, perturbaciones al ecosistema marino, etc.), como remotos a través de teleconexiones atmosféricas (tendencia a menores precipitaciones en los Andes y Amazonía). Para los efectos remotos, la mayoría de centros internacionales realizan el monitoreo del Pacífico central (ej. Niño 3.4) y de índices asociados como el Oceanic Niño Index (ONI), el Multivariate El Niño Index (MEI) o incluso el Índice de Oscilación Sur (SOI en inglés). Sin embargo, para los efectos locales, el Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN) siempre ha deseado tener un índice más relevante a la costa sudamericana que permita determinar en forma objetiva la presencia de El Niño o La Niña y sus magnitudes. El principal problema con esto es que El Niño se podría cuantificar de muchas formas.

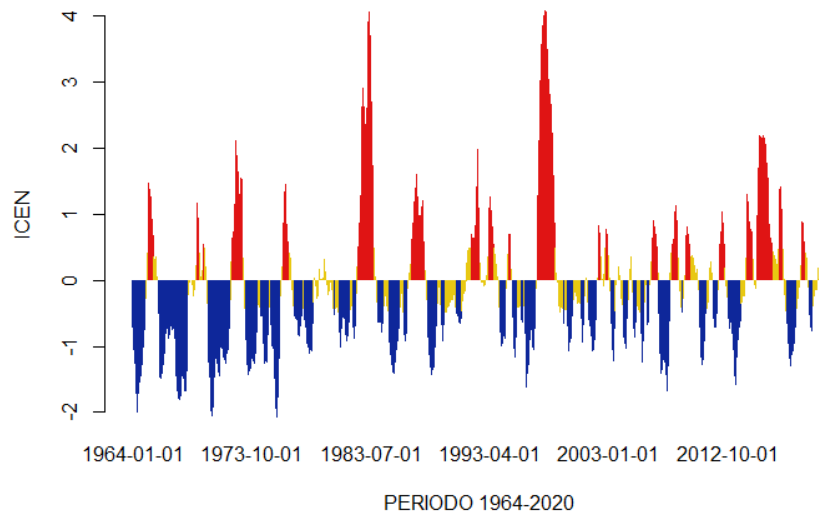


Figura 11. Distribución del Índice Costero El Niño – ICEN.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 11 se muestra la distribución del Índice Costero El Niño - ICEN entre 1964 al 2020. Los datos por debajo de la línea azul indican episodios de La Niña, y los datos por encima de la línea roja indican episodios de El Niño.

4.1.1 Índice Oceánico de El Niño ONI

(ONI). El ONI (su sigla del inglés, Oceanic Niño Index) representa la desviación del promedio de la temperatura superficial del océano Pacífico. La temperatura superficial del océano que se registra en el océano Pacífico ecuatorial (5°S - 5°N ; 170°W - 120°W), se conoce como El Niño 3.4. El Índice Oceánico de El Niño 3.4, es una de las mayores bases de datos que mide el fenómeno climático (30).

El ONI es la principal medida para hacer seguimiento y predecir el ENSO, y se compone de tres fases: El Niño, que se caracteriza por valores positivos del ONI mayores o iguales a $+0,5^{\circ}\text{C}$, durante tres meses continuos; la Niña, caracterizada por valores negativos del ONI menores o iguales a $-0,5^{\circ}\text{C}$, durante tres meses continuos; y la fase Neutra que presenta valores del ONI entre $-0,5^{\circ}\text{C}$ y $+0,5^{\circ}\text{C}$ (31).

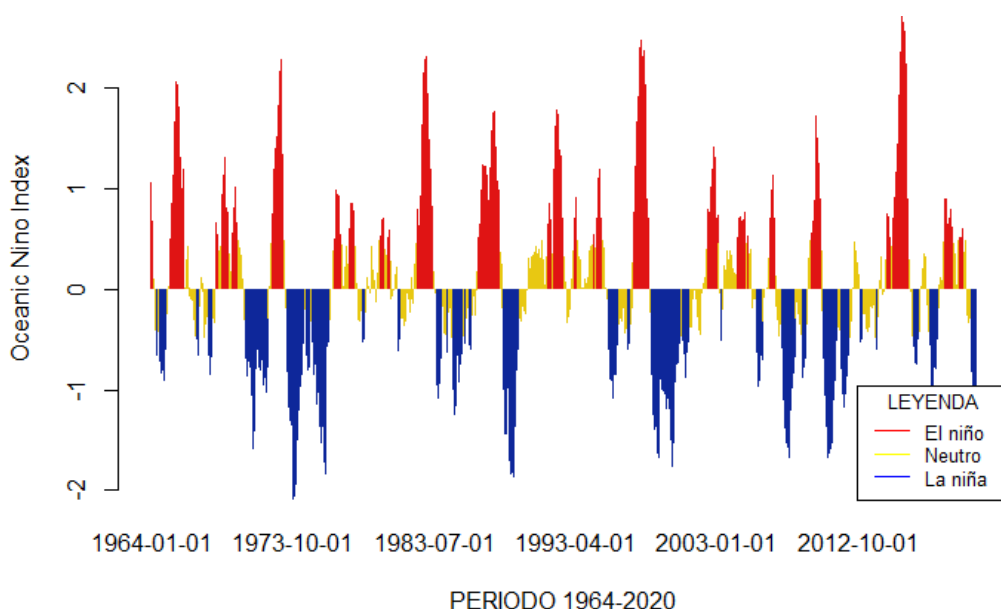


Figura 12. Distribución del Índice Oceánico de El Niño - ONI.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 12 se muestra la distribución del Índice Oceánico de El Niño - ONI entre 1964 al 2020. Los datos por debajo de la línea azul indican episodios de La Niña, y los datos por encima de la línea roja indican episodios de El Niño.

4.2 Análisis de la precipitación registrada

Para el presente estudio se obtuvieron los datos de las estaciones meteorológicas en el ámbito del departamento de Apurímac (Anexos), donde se verificaron la homogeneidad y consistencia en los periodos disponibles.

La información de lluvia mensual se obtuvo de las estaciones operadas y monitoreadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI, para el período 1964 a 2020. Debido a que la zona de estudio está localizada en el departamento de Apurímac, los datos de la precipitación empleados en el estudio provienen de estaciones meteorológicas ubicadas entre 13° a 15° de latitud sur y 72° a 74° de longitud Oeste, con altitudes entre 2300 y 3200 msnm (Tabla 8). ubicadas sobre la intercuenca hidrográfica Alto Apurímac, que abarca los departamentos de Apurímac, Cusco, Ayacucho y Puno.

Sin embargo, en el ámbito de estudio se encontró datos disponibles de 10 estaciones hidrometeorológicas ubicados en el departamento de Apurímac y Administrados por el Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología SENAMHI con los que se procedió a realizar los análisis respectivos para plantear los objetivos del presente trabajo.

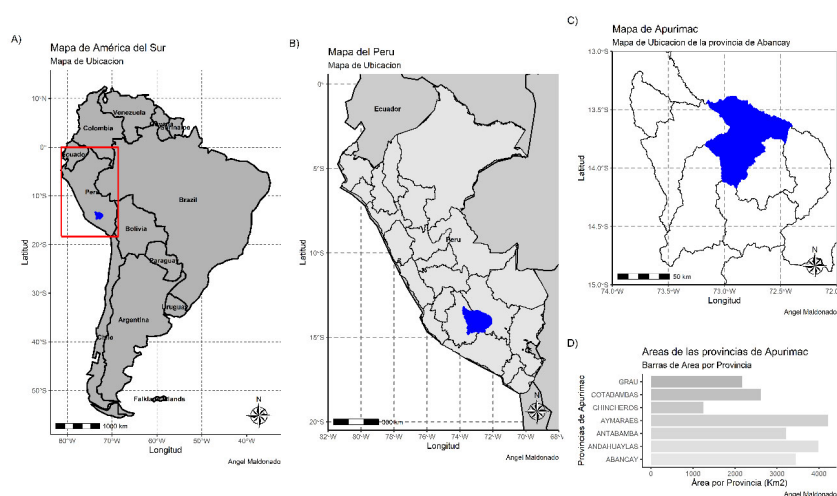


Figura 13. Ubicación del ámbito de estudio.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 13 se muestra la ubicación de ámbito de estudio donde se muestra al departamento de Apurímac y a la provincia de Abancay, del mismo modo mostramos también las estaciones consideradas en el presente estudio (ver Tabla 8) como también la ubicación geográfica de dichas estaciones del departamento de Apurímac (Figura 14).

Tabla 8. Estaciones meteorológicas ubicados en la región Apurímac

Nombre	Código	Latitud	Longitud	Altitud	Departamento	Provincia	Lugar
Abancay I	000605	13°38'00.0"	72°53'00.0"	2377	Apurímac	Abancay	Patibamba
Abancay II	47263360	13°36'17.7"	72°51'29.9"	2780	Apurímac	Abancay	Tamburco
Andahuaylas	113025	13°38'55.1"	73°22'00.9"	2981	Apurímac	Andahuaylas	San Jerónimo
Antabamba	000748	14°22'00.9"	72°53'01.0"	3639	Apurímac	Antabamba	Antabamba
Chalhuanca I	000747	14°23'00.0"	73°10'00.0"	3558	Apurímac	Aymaraes	Cotarusi-Caraybamba
Chalhuanca II	114117	14°20'00.0"	73°10'00.0"	2850	Apurímac	Aymaraes	Chalhuanca
Curahuasi	113029	13°33'09.4"	72°44'56.0"	2741	Apurímac	Abancay	Curahuasi
Curpahuasi	114108	14°03'46.2"	72°40'00.8"	3535	Apurímac	Grao	Curpahuasi
Tambobamba	113059	13°58'41.7"	72°10'00.0"	3454	Apurímac	Cotabambas	Tambobamba

Fuente: SENAMHI

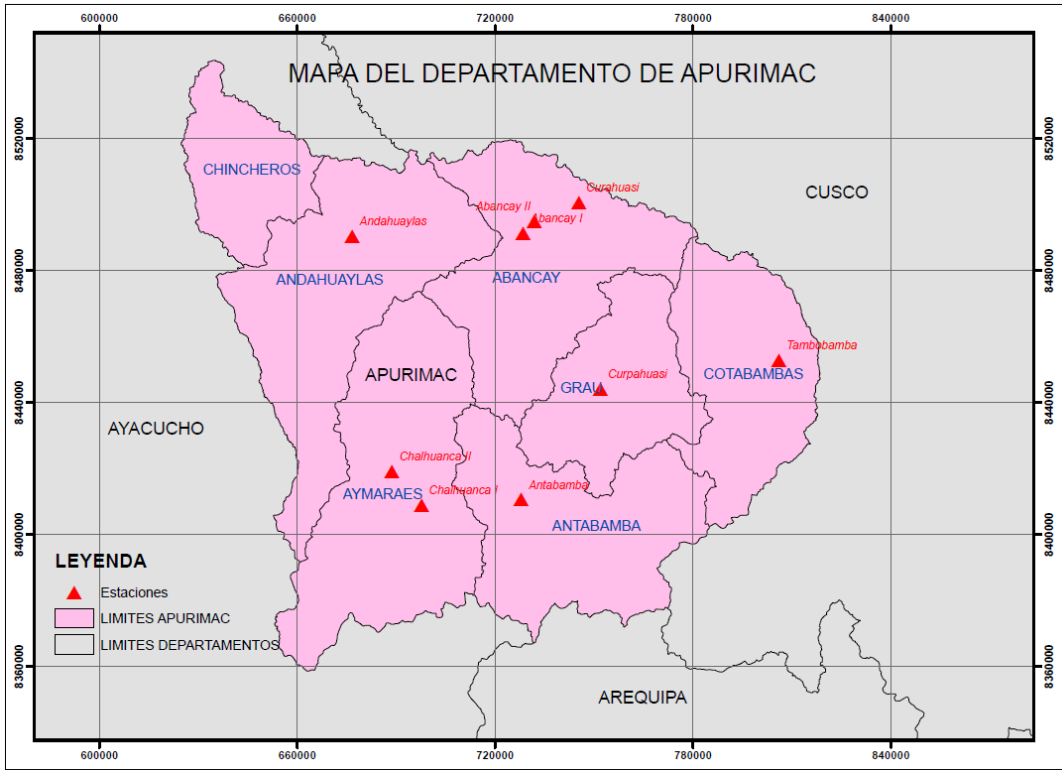


Figura 14. Ubicación de las estaciones pluviométricas.

Fuente: Elaboración propia.

De las estaciones consideradas para el presente trabajo se recopiló la información disponible por el Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología SENAMHI y compatibilizando los datos con los archivos de estudios anteriores, proyectos que han sido aprobados por la Autoridad Nacional del Agua ANA y archivos disponibles en los portales de página web como son de la ANA y del SENAMHI, lográndose obtener los siguientes periodos disponibles de datos de precipitación (ver Tabla 9) para el presente estudio.

Tabla 9. Periodos de datos disponibles recopilados.

Estación	Periodos Disponibles	
Abancay I	1964-1981	1986-1993
Abancay II	1996-2020	
Andahuaylas	1964-1978	1994-2020
Antabamba	1964-1975	
Chalhuanca I	2000-2013	
Chalhuanca II	1964-1999	2014-2020
Curahuasi	1964-2020	
Curpahuasi	2009-2020	
Tambobamba	1995-2020	

Fuente: Elaboración Propia.

Así mismo se cuantifico el número de registros disponibles de precipitación (lluvia acumulada mensual) por cada estación en el departamento de Apurímac, las mismas que se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Disponibilidad de datos por Estación

Estación	Completo	Incompleto
	[Años]	[Años]
Abancay I	25	16
Abancay II	25	15
Andahuaylas	42	39
Antabamba	12	9
Chalhuanca I	14	12
Chalhuanca II	37	28
Curahuasi	57	44
Curpahuasi	12	6
Tambobamba	26	21

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.1 Datos de precipitación en el Ámbito de estudio.

Estación Abancay I. Se ubicó en el sector de Patibamba Baja de la ciudad de Abancay, que funcionó desde el año 1964 hasta el año de 1993 registrando datos en los periodos desde 1964 – 1981 y 1986 – 1993 que de acuerdo a los análisis efectuados el promedio de precipitación multianual es de 624.53 mm, estación que se estuvo ubicada en la cota de 2377 msnm como indican los archivos y reportes de la información de dichas series históricas, en la Figura 15 se muestra la información disponible en el periodo 1964-1993.

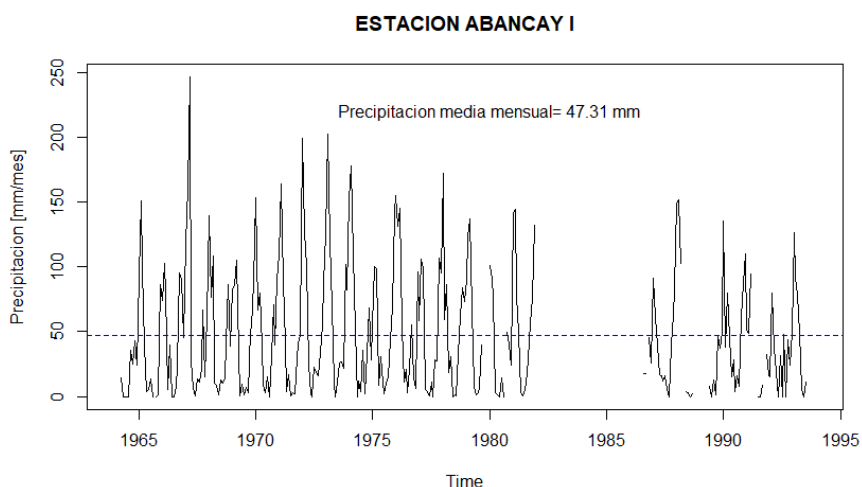


Figura 15. Precipitación acumulada mensual de la estación Abancay I.

Fuente: Elaboración propia.

Estación Abancay II. Se ubica en el sector de San Antonio distrito de Tamburco, provincia de Abancay, que actualmente funciona desde el año 1996 hasta la actualidad (2020) registrando datos en el periodo desde 1996 hasta la actualidad por lo que para el estudio se recopiló los datos históricos del periodo del 1996 – 2020 y que de acuerdo a los análisis efectuados el promedio de precipitación multianual es de 967.21 mm, estación que está ubicada a una cota de 2780 msnm, en la Figura 16 se muestra la información disponible en el periodo 1996-2020.

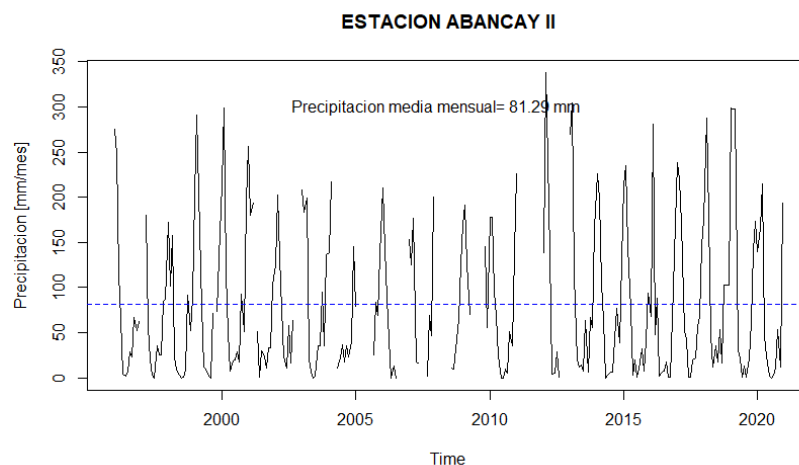


Figura 16. Precipitación acumulada mensual de la estación Abancay II.

Fuente: Elaboración propia.

Estación Andahuaylas. Se ubica en el distrito de San Jerónimo, provincia de Andahuaylas, que actualmente funciona desde el año 1964 hasta la actualidad (2020) registrando datos en el periodo desde 1996 hasta la actualidad por lo que para el estudio se recopiló los datos históricos de los periodos del 1964 – 1978 y 1994 - 2020 y que acuerdo a los análisis efectuados el promedio de precipitación multianual es de 682.68 mm, estación que está ubicada a una cota de 2981 msnm, en la Figura 17 se muestra la información disponible en el periodo 1964-2020.

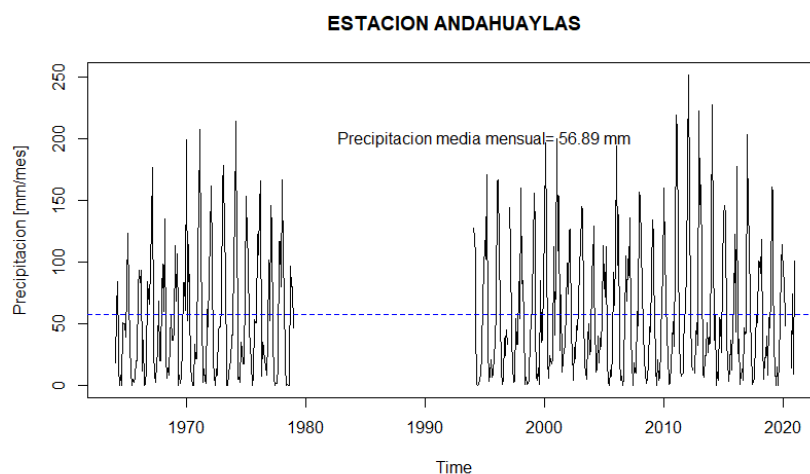


Figura 17. Precipitación acumulada mensual de la estación Andahuaylas.

Fuente: Elaboración propia.

Estación Antabamba. Se ubicó en el distrito de Antabamba provincia de Antabamba, que funciono desde el año 1964 hasta el año de 1975 registrando datos en dicho periodo, dejando de funcionar en el año de 1976, y que de acuerdo a los análisis efectuados el promedio de precipitación multianual es de 890.47 mm, estación que se estuvo ubicada en la cota de 3639 msnm como indican los archivos y reportes recopilados, en la Figura 18 se muestra la información disponible en el periodo 1964-1975.

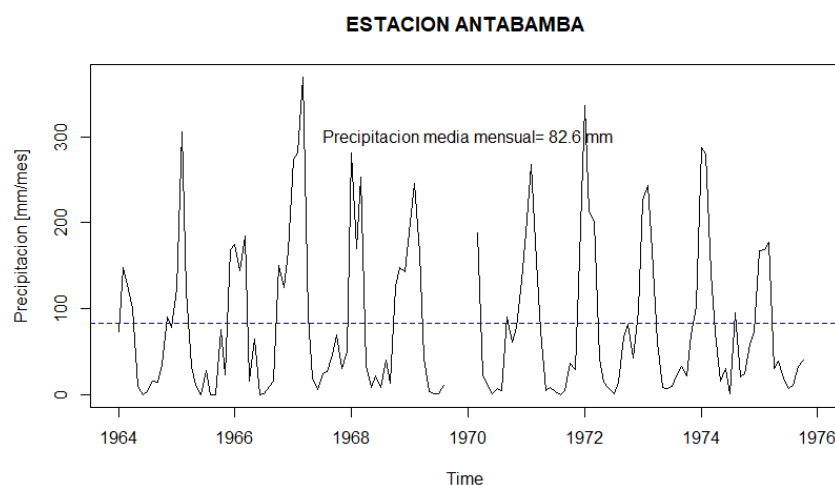


Figura 18. Precipitación acumulada mensual de la estación Antabamba.

Fuente: Elaboración propia.

Estación Chalhuanca I. Se ubica entre los distritos de Caraybamba y Cotarusi, ambos de la provincia de Aymaraes, que funciona desde el año 2000 hasta la actualidad registrando datos en dicho periodo, teniendo como datos disponibles desde el año 2000 al 2013 de cual se recopiló para el presente estudio, y que de acuerdo a los análisis efectuados el promedio de precipitación multianual es de 808.48 mm, estación que se encuentra ubicada en la cota de 3558 msnm como indican los archivos y reportes recopilados, en la Figura 19 se muestra la información disponible en el periodo 2000-2013.

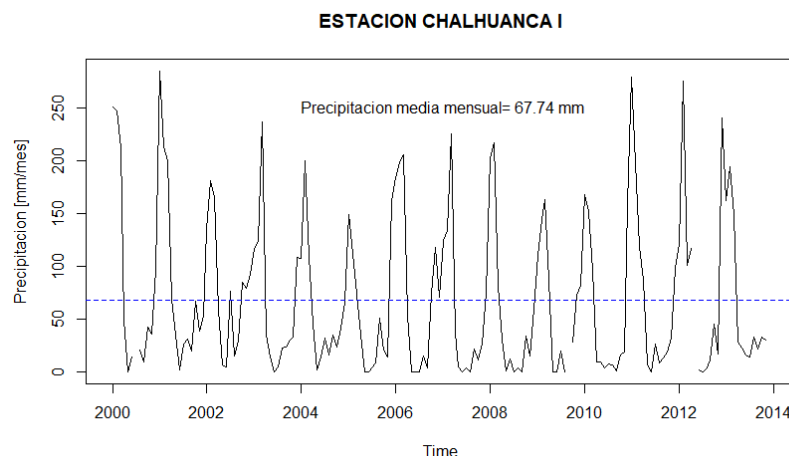


Figura 19. Precipitación acumulada mensual de la estación Chalhuanca I.

Fuente: Elaboración propia.

Estación Chalhuanca II. Se ubica la ciudad de Chalhuanca, provincia de Aymaraes, que funciona desde el año 1964 hasta la actualidad registrando datos en los periodos 1964 – 1983, 1986 – 1989, 1995 – 1999 y 2014 – 2020, obteniéndose como datos disponibles los periodos mencionados y que fueron recopilados para el presente estudio, y que de acuerdo a los análisis efectuados el promedio de precipitación multianual es de 744.38 mm, estación que se encuentra ubicada en la cota de 2850 msnm como indican los archivos y reportes recopilados, en la Figura 20 se muestra la información disponible en el periodo 1964-2020.

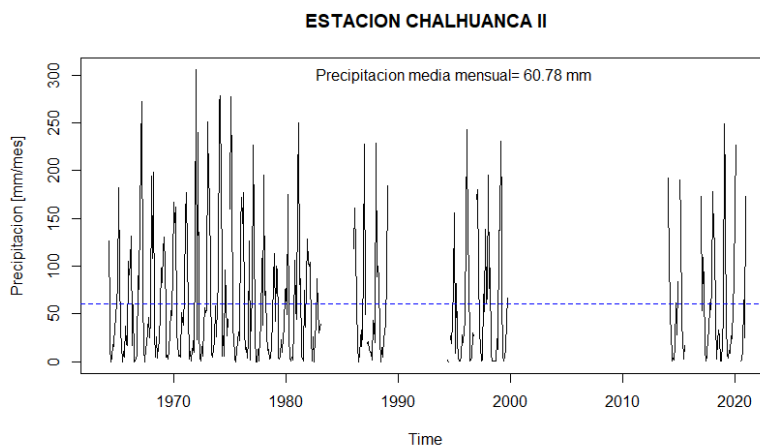


Figura 20. Precipitación acumulada mensual de la estación Chalhuanca II.

Fuente: Elaboración propia.

Estación Curahuasi. Se ubica la ciudad de Curahuasi, provincia de Abancay, que funciona desde el año 1964 hasta la actualidad registrando datos en dicho periodo, siendo la estación con mayor información el departamento de Apurímac, y que dichos datos fueron recopilados para el presente estudio, y que de acuerdo a los análisis efectuados el promedio de precipitación multianual es de 690.32 mm, estación que se encuentra ubicada en la cota de 2741 msnm como indican los archivos y reportes recopilados, en la Figura 21 se muestra la información disponible en el periodo 1964-2020.

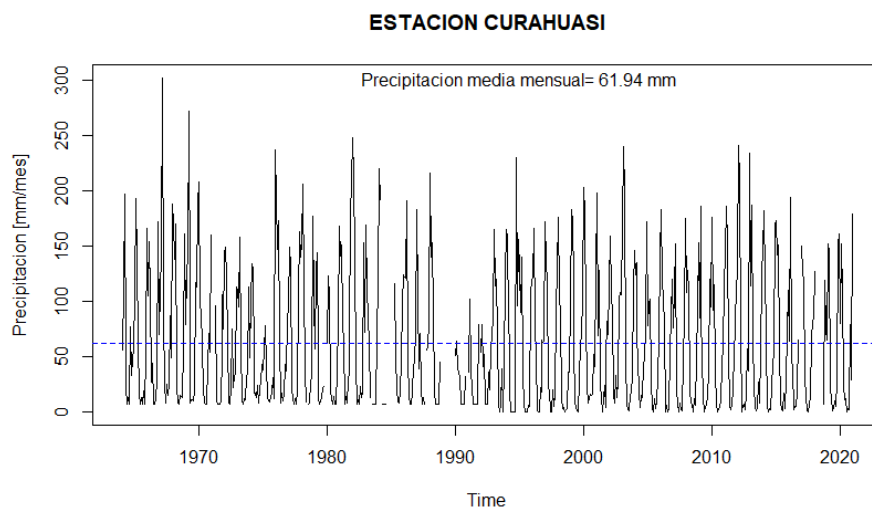


Figura 21. Precipitación acumulada mensual de la estación Curahuasi.

Fuente: Elaboración propia.

Estación Curpahuasi. Se ubica en el distrito de Curpahuasi, provincia de Grau, que funciona desde el año 2009 hasta la actualidad registrando datos en dicho periodo, siendo el estación con menos información debido a que fue recientemente instalada en el departamento de Apurímac, y que los datos disponible de ese periodo fueron recopilados para el presente estudio, y que de acuerdo a los análisis efectuados el promedio de precipitación multianual es de 1080.28 mm, estación que se encuentra ubicada en la cota de 3535 msnm como indican los archivos y reportes recopilados, en la Figura 22 se muestra la información disponible en el periodo 2009-2020.

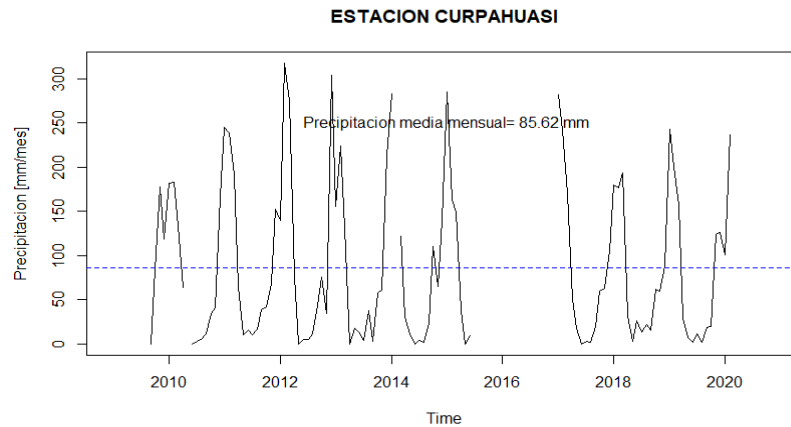


Figura 22. Precipitación acumulada mensual de la estación Curpahuasi.
Fuente: Elaboración propia.

Estación Tambobamba. Se ubica en distrito de Tambobamba, provincia de Cotabambas, que funciona desde el año 1995 hasta la actualidad registrando datos en dicho periodo, y que los datos disponibles de ese periodo fueron recopilados para el presente estudio, y que de acuerdo a los análisis efectuados el promedio de precipitación multianual es de 1036.19 mm, estación que se encuentra ubicada en la cota de 3454 msnm como indican los archivos y reportes recopilados, en la Figura 23 se muestra la información disponible en el periodo 1995-2020.

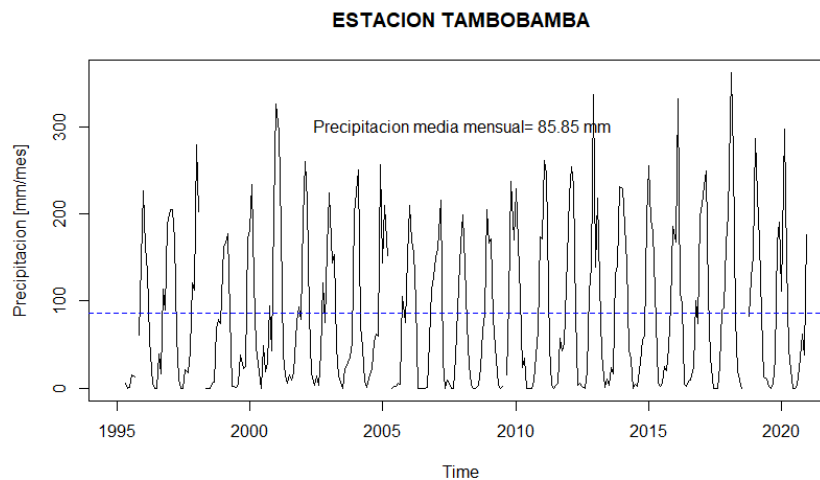


Figura 23. Precipitación acumulada mensual de la estación Tambobamba.
Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Análisis de los datos.

4.2.2.1 Análisis exploratorio gráfico de la precipitación a escala anual según ONI.

Para el análisis de la precipitación a escala anual, se separaron los meses con eventos de La Niña, con valores de ONI $< -0,5^{\circ}\text{C}$; los eventos del Niño con los valores de ONI $> +0,5^{\circ}\text{C}$ y eventos Neutros $-0,5^{\circ}\text{C} < \text{ONI} < +0,5^{\circ}\text{C}$ obteniéndose así tres grupos de eventos.

En los grupos de precipitación (datos observados) agrupados según los eventos del índice ONI, se realizó un análisis gráfico exploratorio *boxplot* entre los tres grupos (Ver figuras del 24 al 32), donde se muestran los grupos de precipitación según las fases del índice ONI para cada estación, para luego realizar diversas pruebas estadísticas de los principales parámetros como son la media y la desviación estándar para cada estación y de esta manera obtener la significancia entre las variaciones de la media y la desviación estándar de los grupos según las fases ENOS y observar la variabilidad entre los grupos y su respectiva validación estadística a través de la prueba ANOVA (Análisis de varianza) que se realizó en el desarrollo del objetivo específico 2.

a) Análisis Multianual de los grupos de eventos (Fases) según el índice de teleconexión ONI.

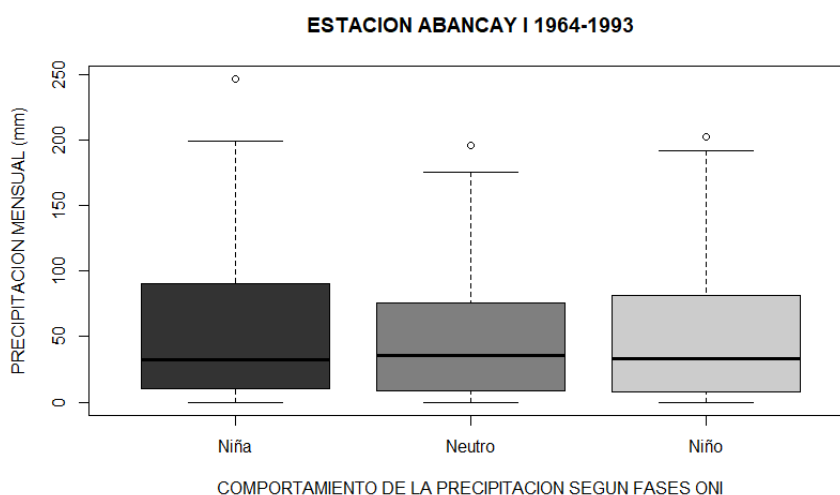


Figura 24. Grupos de precipitación según ONI en la estación Abancay I.

Fuente: Elaboración propia.

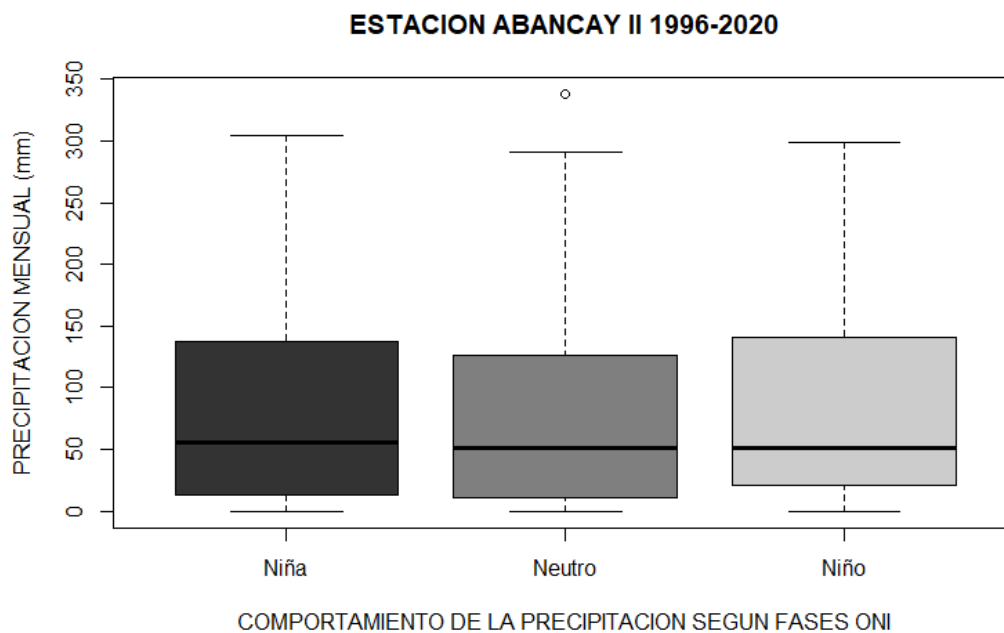


Figura 25. Grupos de precipitación según ONI en la estación Abancay II.

Fuente: Elaboración propia.

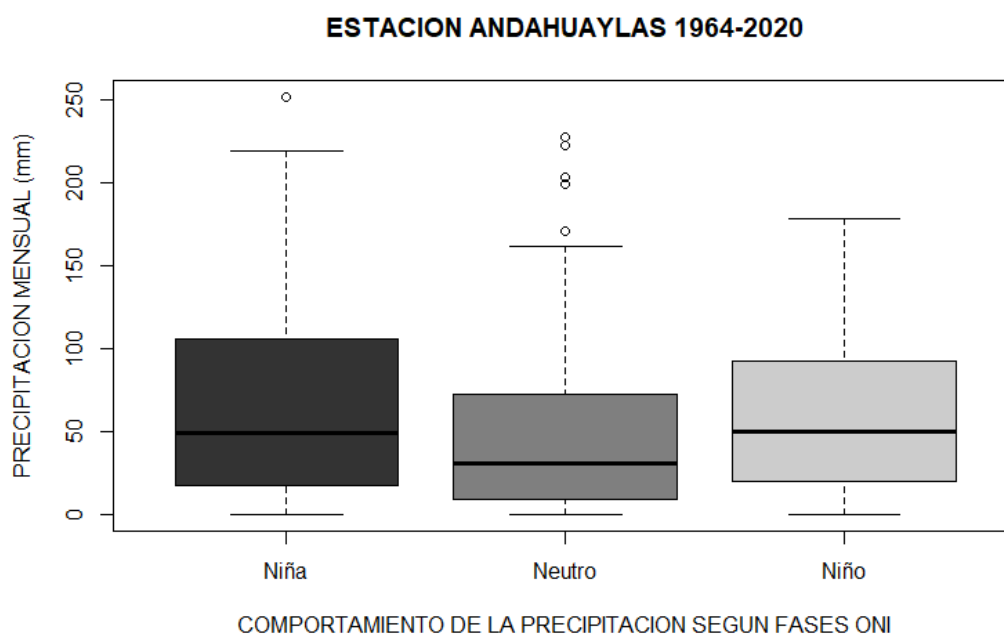


Figura 26. Grupos de precipitación según ONI en la estación Andahuaylas.

Fuente: Elaboración propia.

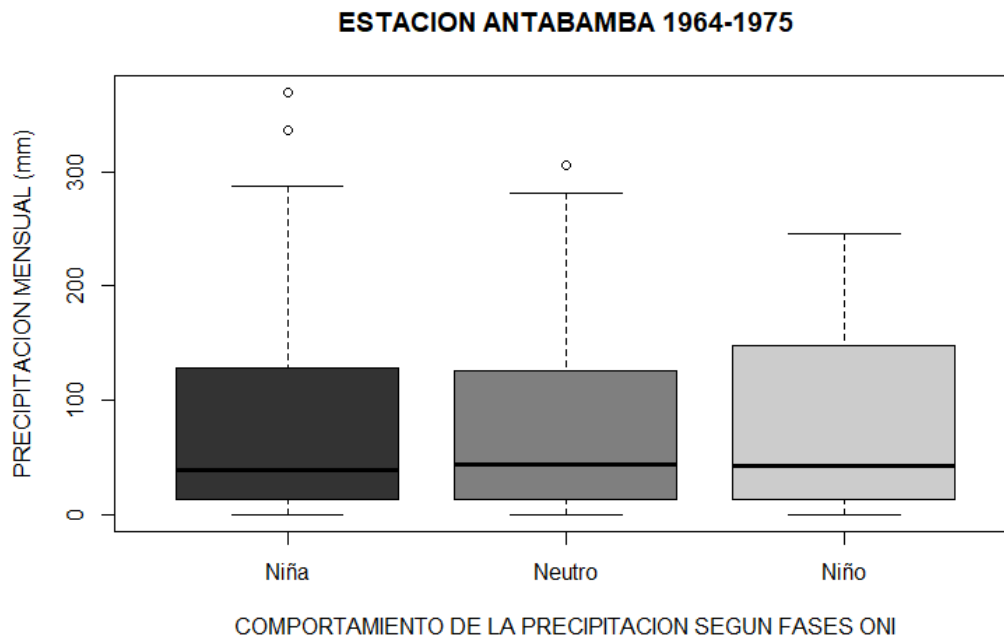


Figura 27. Grupos de precipitación según ONI en la estación Antabamba.
Fuente: Elaboración propia.

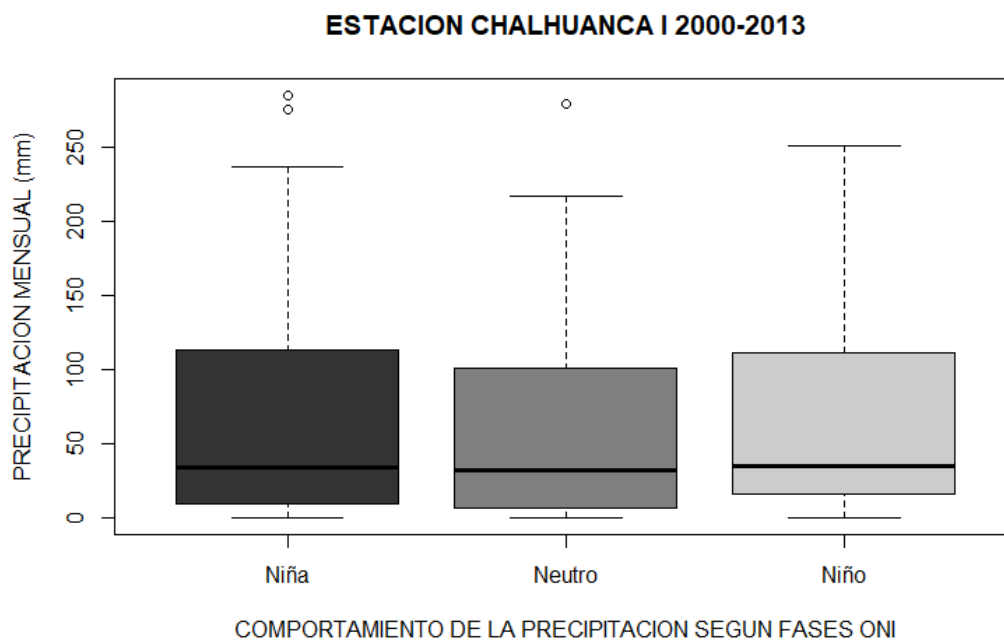


Figura 28. Grupos de precipitación según ONI en la estación Chalhuanca I.
Fuente: Elaboración propia.

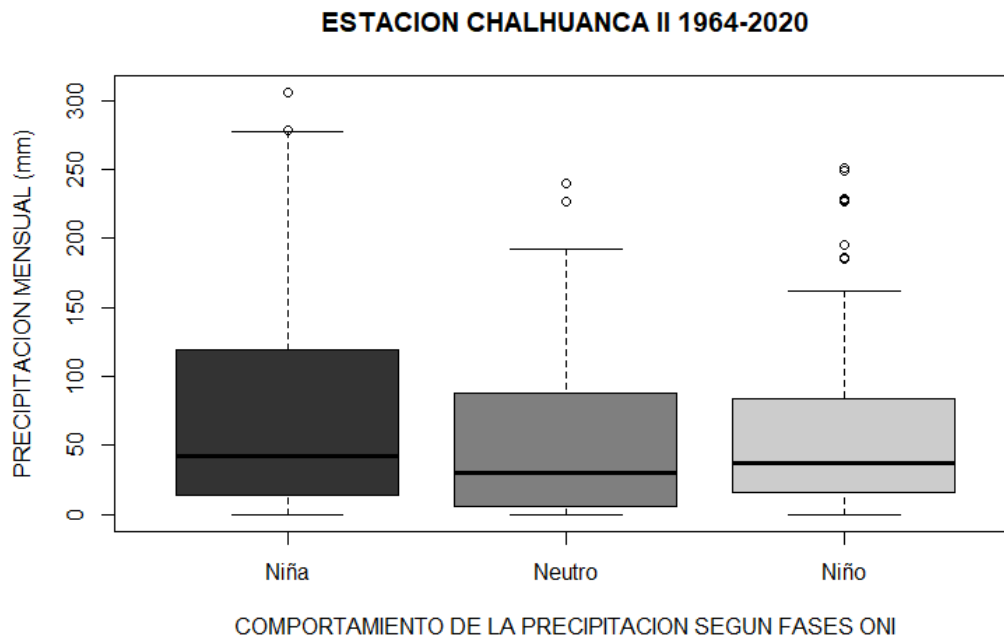


Figura 29. Grupos de precipitación según ONI en la estación Chalhuanca II.
Fuente: Elaboración propia.

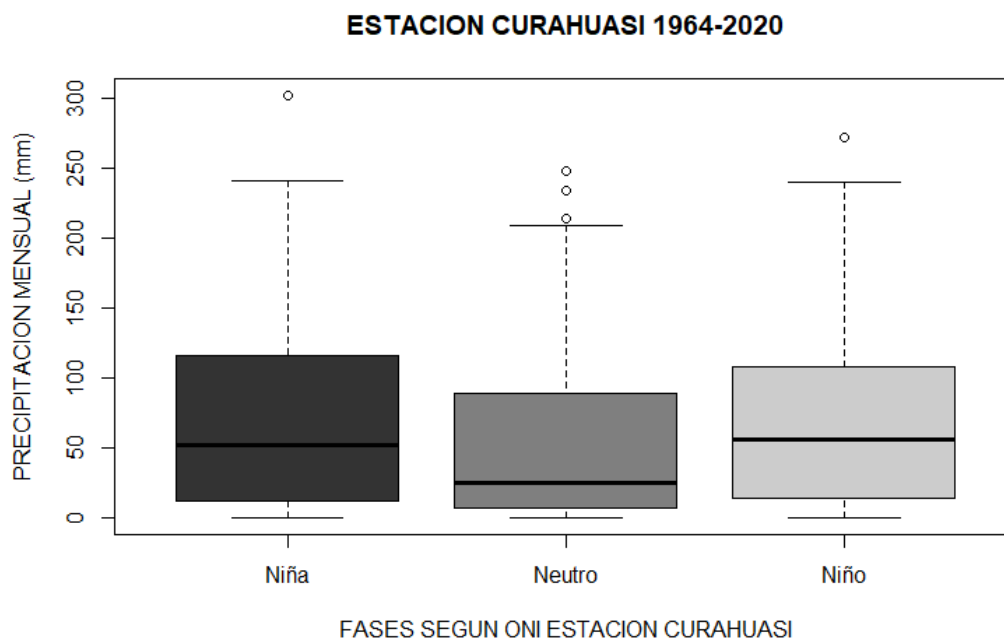


Figura 30. Grupos de precipitación según ONI de la estación Curahuasi.
Fuente: Elaboración propia.

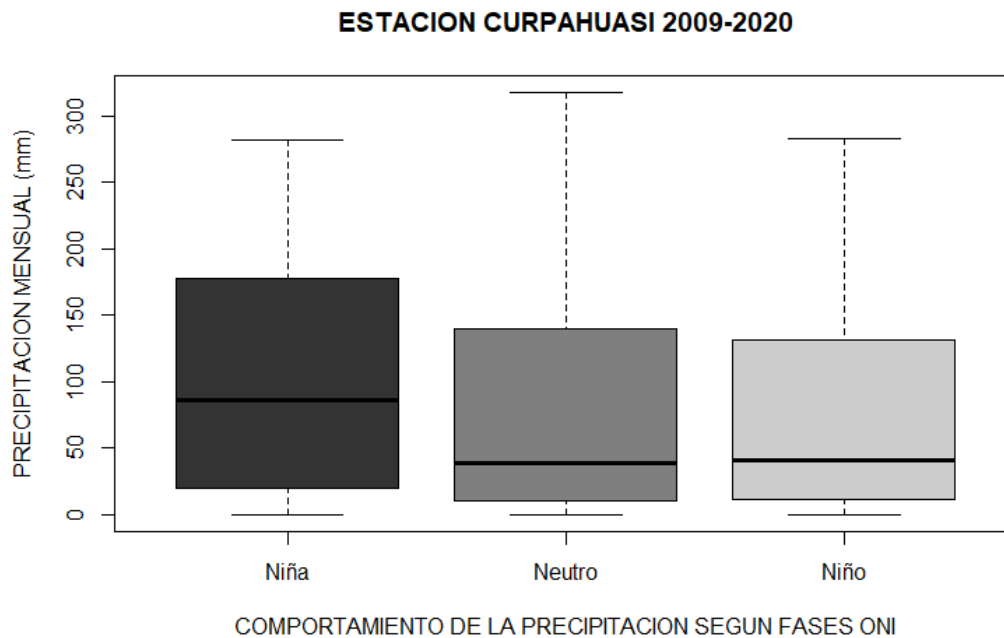


Figura 31. Grupos de precipitación según ONI de la estación Curpahuasi.
Fuente: Elaboración propia.

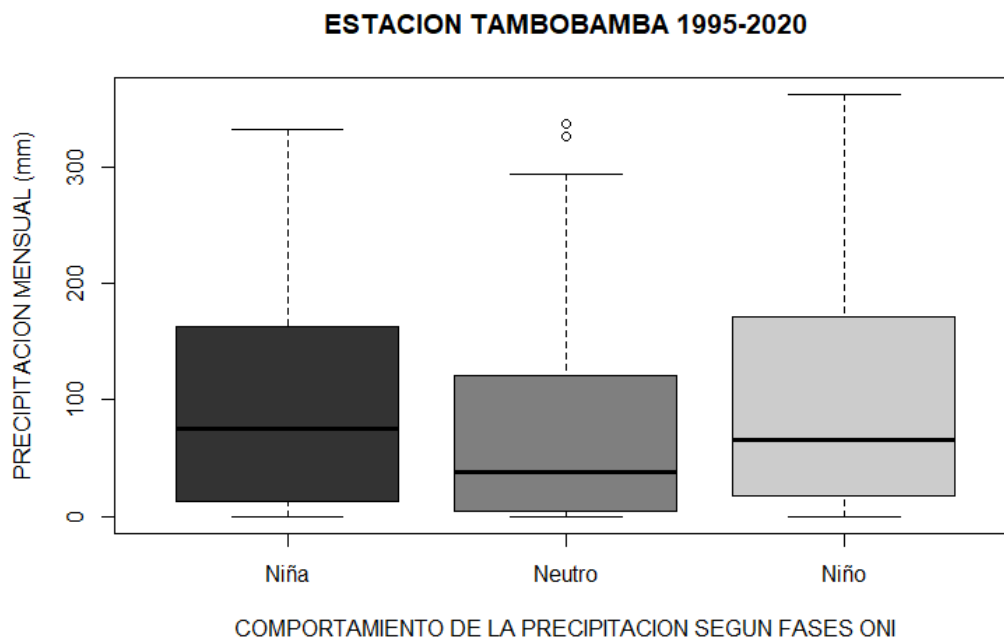


Figura 32. Grupos de precipitación según ONI de la estación Tambobamba.
Fuente: Elaboración propia.

De los gráficos observados (Figuras 24 al 32) podemos indicar que en el gráfico de grupos según ONI en cada estación se aprecia una ligera variación entre los grupos y que para tener la certeza de la significancia de dicha variación se realizó el análisis ANOVA para determinar dicha significancia estadística ya que visualmente existe una variación en las medias.

4.2.2.2 Análisis exploratorio gráfico de la precipitación a escala mensual según ONI.

De igual manera para el análisis a escala mensual de la precipitación se separaron los meses con eventos de La Niña, con valores de ONI $< -0,5^{\circ}\text{C}$; los eventos del Niño con los valores de ONI $> +0,5^{\circ}\text{C}$ y eventos Neutros $-0,5^{\circ}\text{C} < \text{ONI} < +0,5^{\circ}\text{C}$ obteniéndose así tres grupos de eventos.

Así también en los grupos de precipitación (datos observados) agrupados a nivel mensual según los eventos del índice ONI, se realizó un análisis gráfico exploratorio *boxplot* entre los tres grupos (Ver figuras del 33 al 41), donde se muestran los grupos de precipitación según las fases del índice ONI analizado para los doce meses y para cada estación, para luego realizar diversas pruebas estadísticas de los principales parámetros como son la media y la desviación estándar para cada estación y de esta manera obtener la significancia entre las variaciones de la media y la desviación estándar de los grupos según las fases ENOS y observar la variabilidad entre los grupos y su respectiva validación estadística a través de la prueba ANOVA (Análisis de varianza) que se realizó en el desarrollo del objetivo específico 2.

En el caso del análisis mensualizado de la variabilidad en cada mes se realizaron a través de la exploración gráfica *boxplot* los gráficos (Figuras 24 al 32) de los cuales podemos indicar que en el gráfico de grupos según ONI en cada estación se aprecia en cada uno de ellos ligeras variación entre los grupos y que para tener la certeza de la significancia de dicha variación se realizó el análisis ANOVA para determinar dicha significancia estadística ya que visualmente se aprecia una variación, sin embargo se tuvo el inconveniente que en algunos meses no se cuenta con la cantidad necesaria de datos para lograr obtener una buena representación, aun así se pueden observar las ligeras variaciones entre cada grupo.

En la Figura 33 se observa los grupos de precipitación mensualizado según las fases del índice ONI para la estación ABANCAY I.

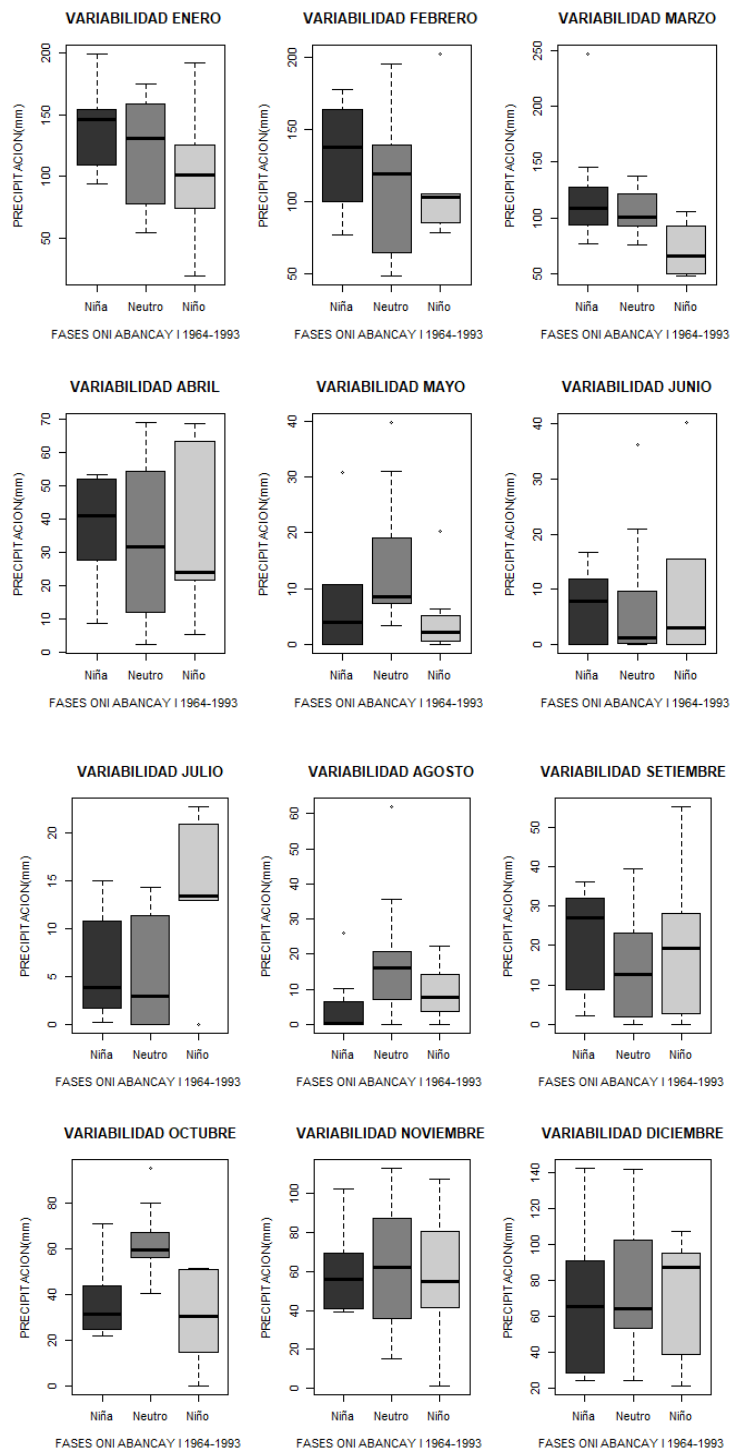


Figura 33. Grupos de precipitación mensualizado según ONI (Abancay I).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 34 se observa los grupos de precipitación mensualizado según las fases del índice ONI para la estación ABANCAY II.

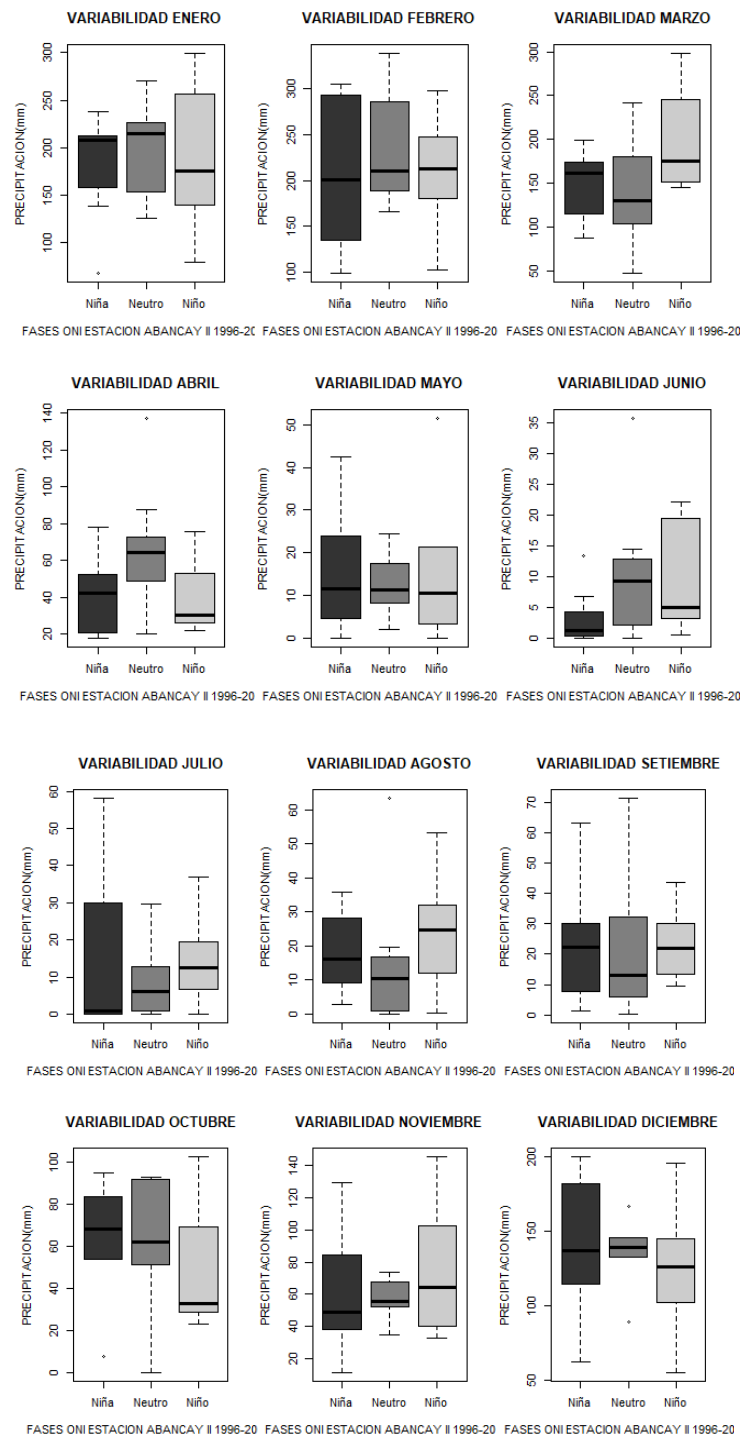


Figura 34. Grupos de precipitación mensualizado según ONI (Abancay II).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 35 se observa los grupos de precipitación mensualizado según las fases del índice ONI para la estación ANDAHUAYLAS.

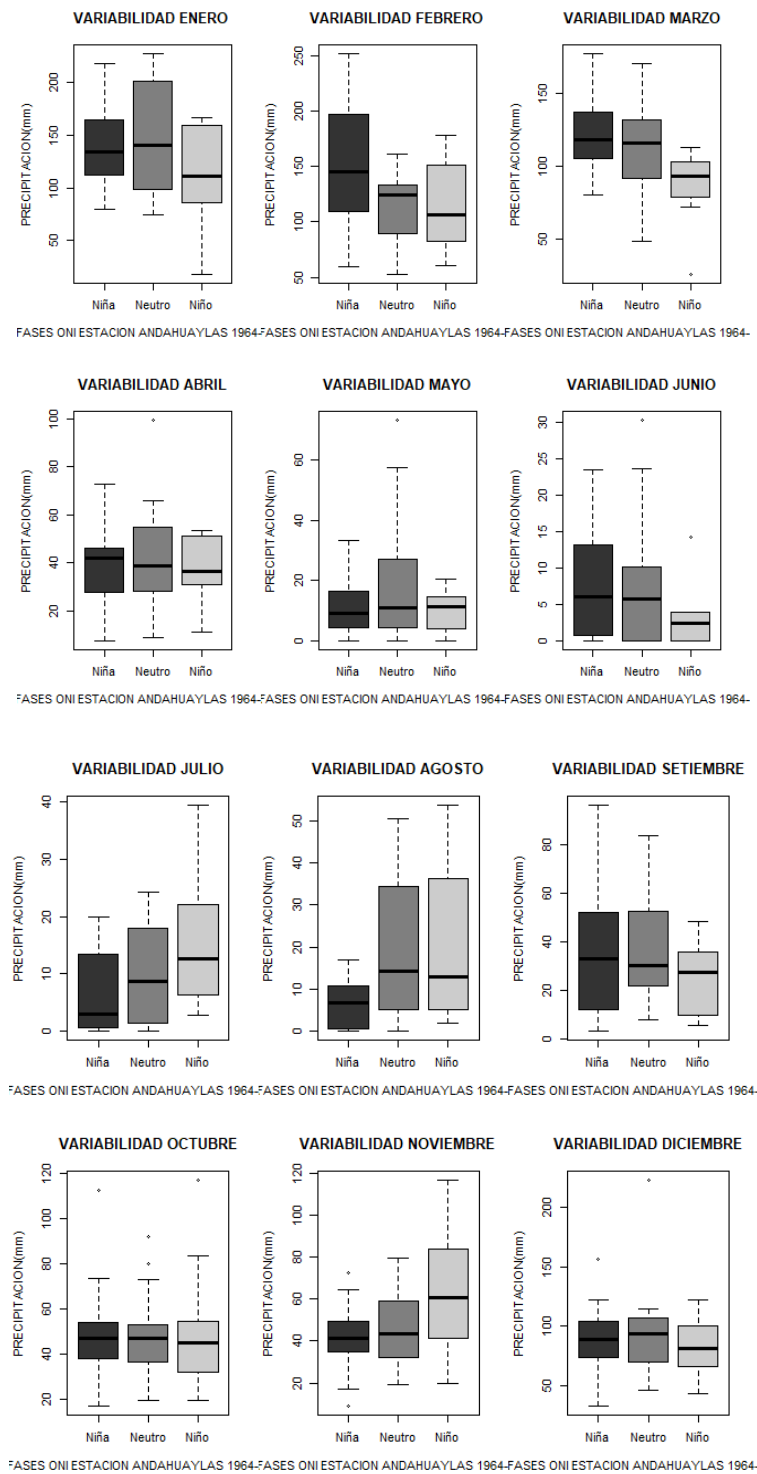


Figura 35. Grupos de precipitación mensualizado según ONI (Andahuaylas).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 36 se observa los grupos de precipitación mensualizado según las fases del índice ONI para la estación ANTABAMBA.

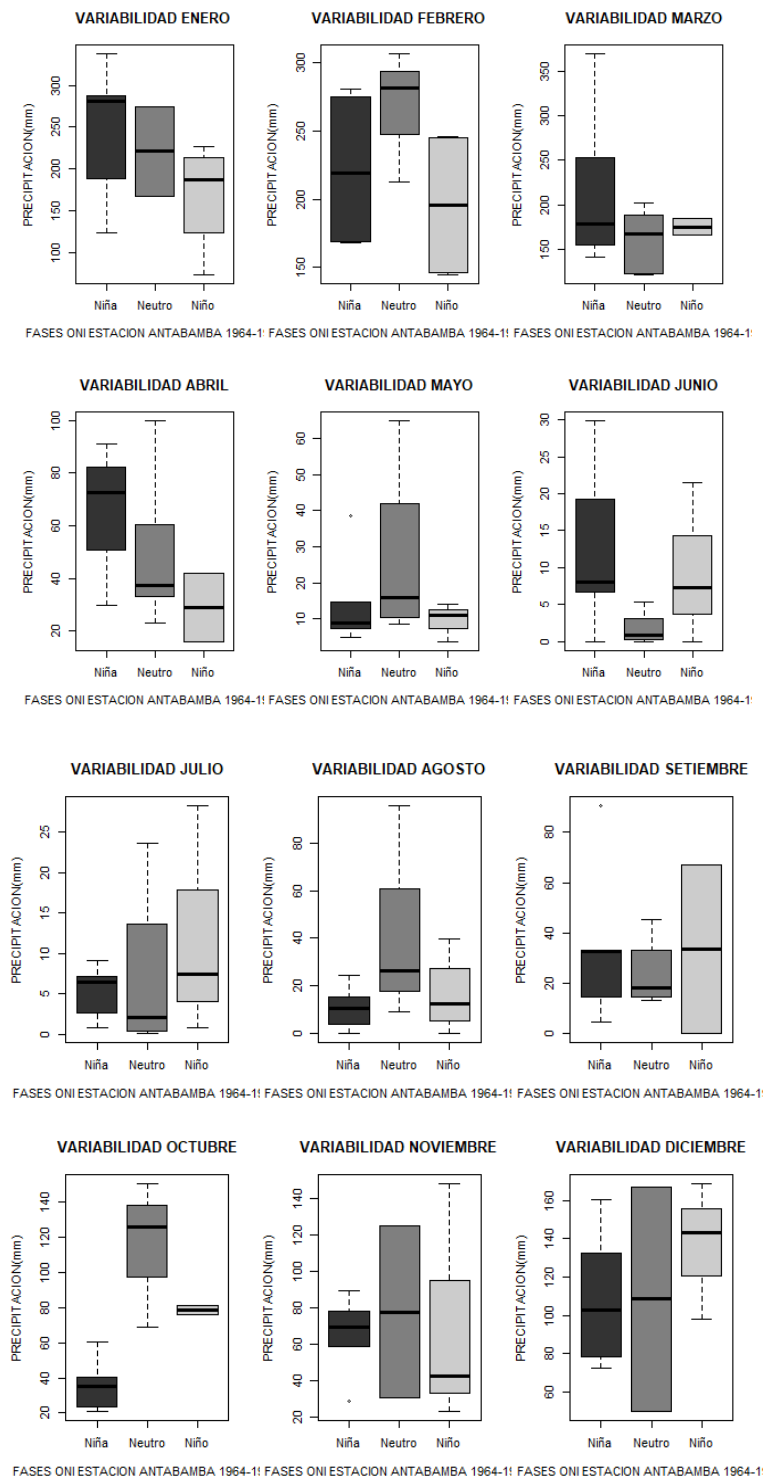


Figura 36. Grupos de precipitación mensualizado según ONI (Antabamba).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 37 se observa los grupos de precipitación mensualizado según las fases del índice ONI para la estación CHALHUANCA I.

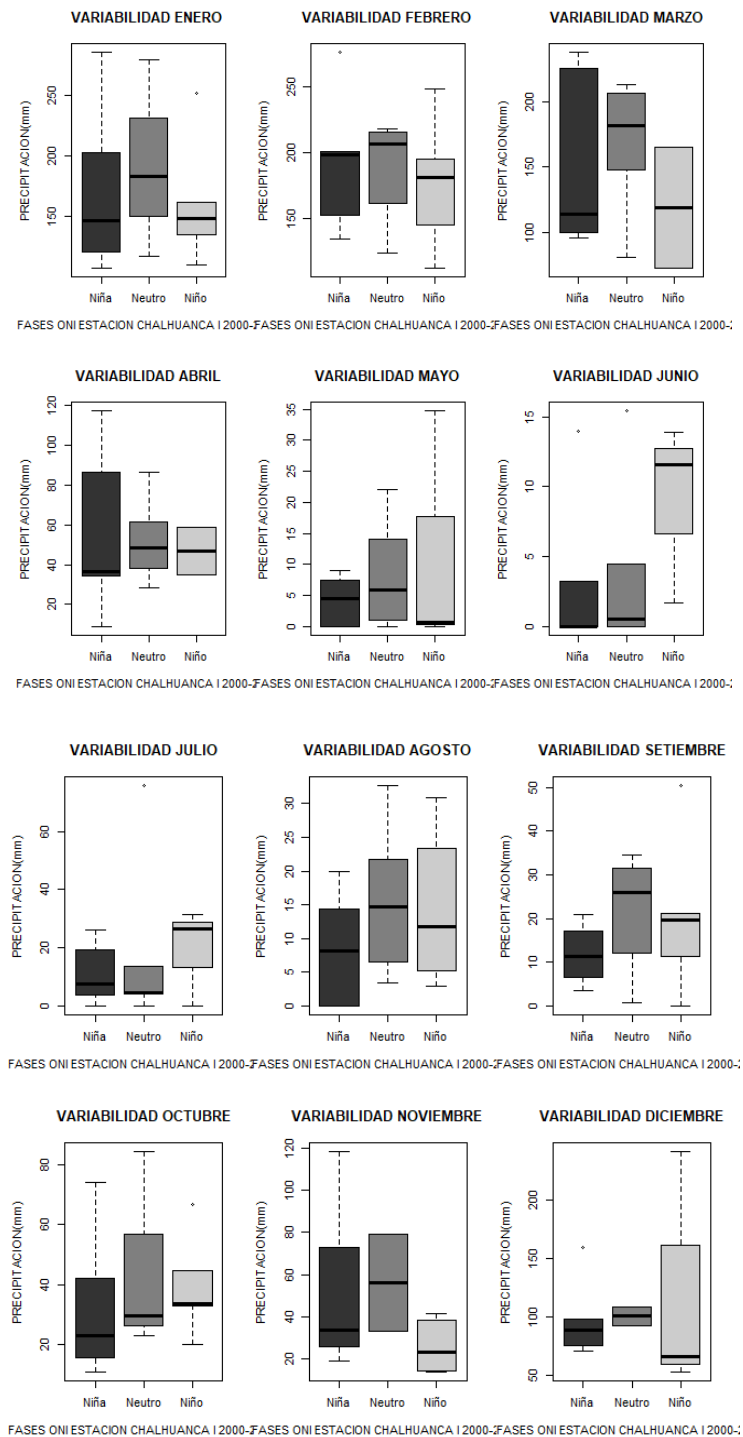


Figura 37. Grupos de precipitación mensualizado según ONI (Chalhuanca I).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 38 se observa los grupos de precipitación mensualizado según las fases del índice ONI para la estación CHALHUANCA II.

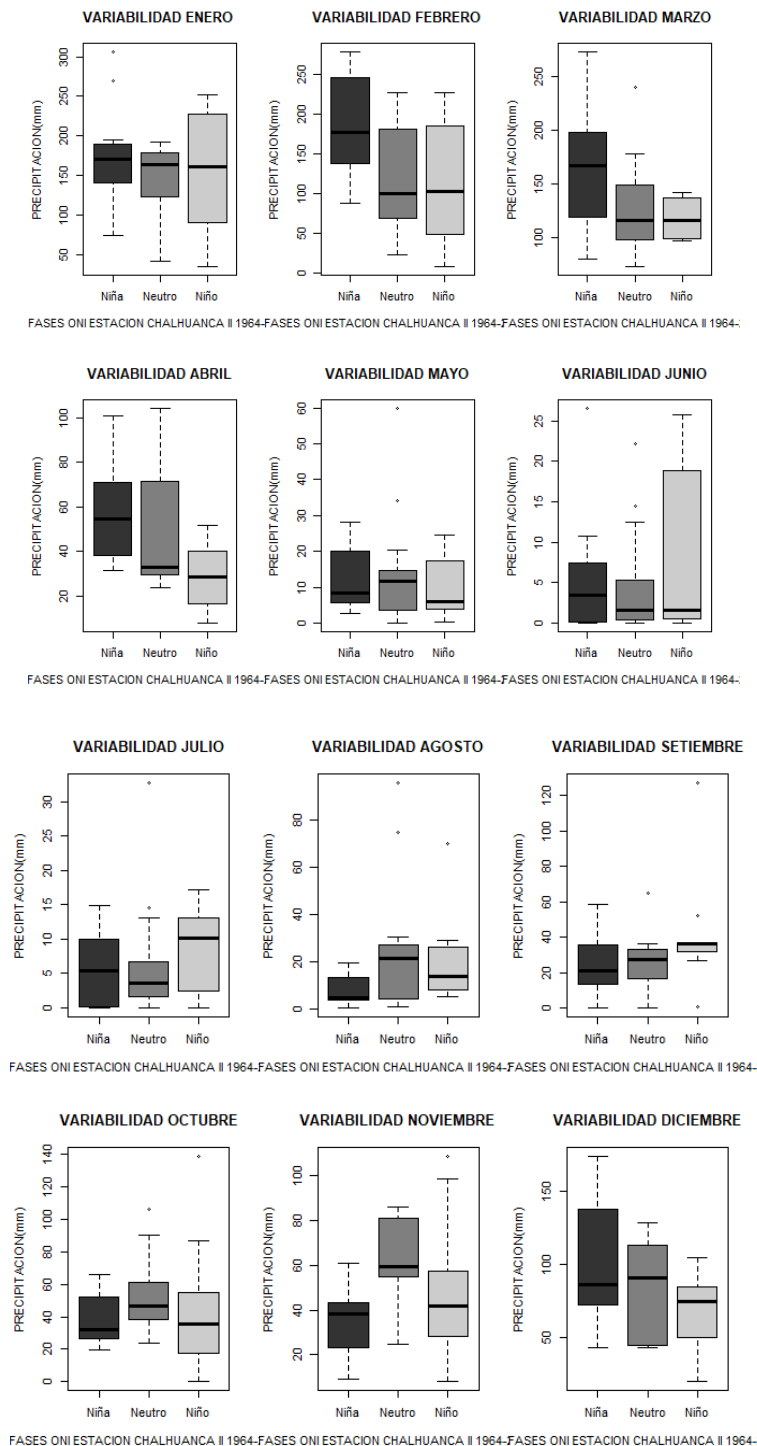


Figura 38. Grupos de precipitación mensualizado según ONI (Chalhuanca II).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 39 se observa los grupos de precipitación mensualizado según las fases del índice ONI para la estación CURAHUASI.

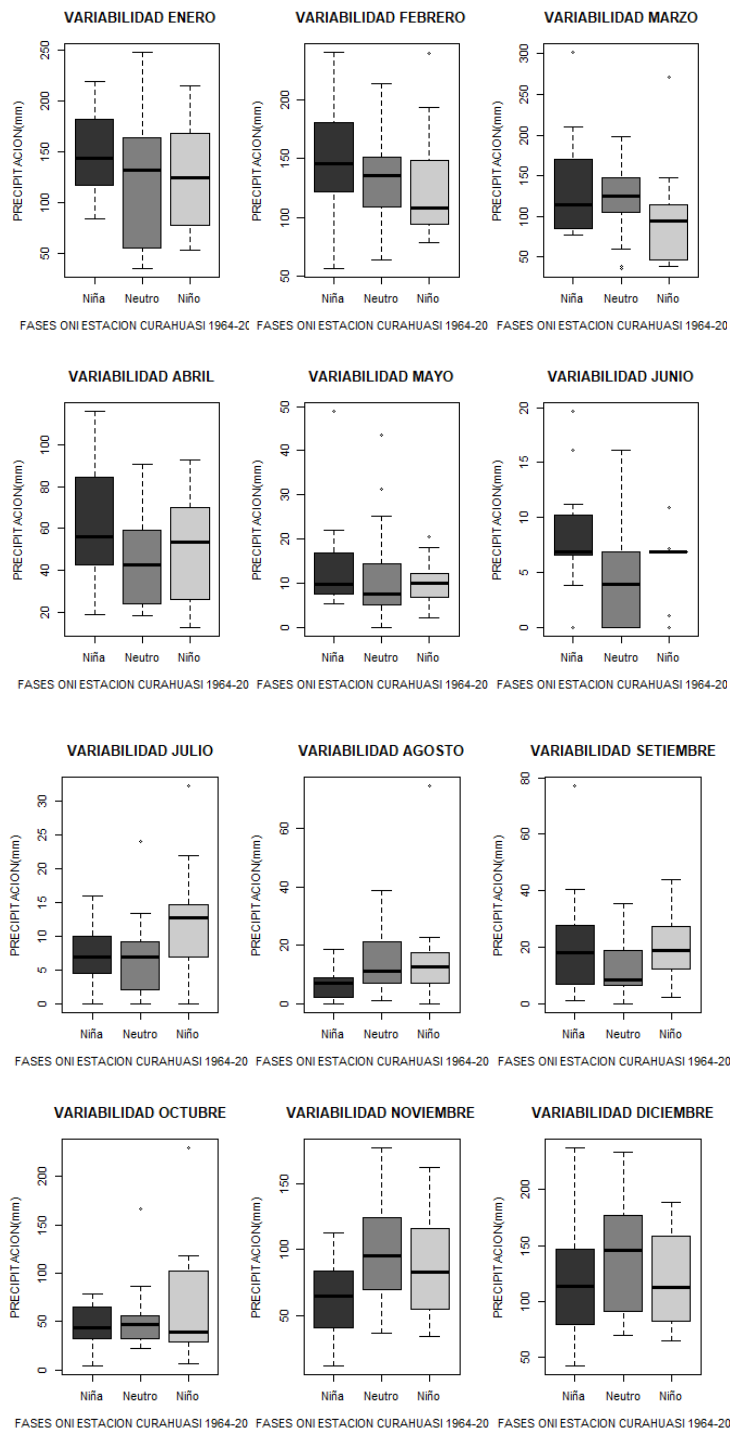


Figura 39. Grupos de precipitación mensualizado según ONI (Curahuasi).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 40 se observa los grupos de precipitación mensualizado según las fases del índice ONI para la estación CURPAHUASI.

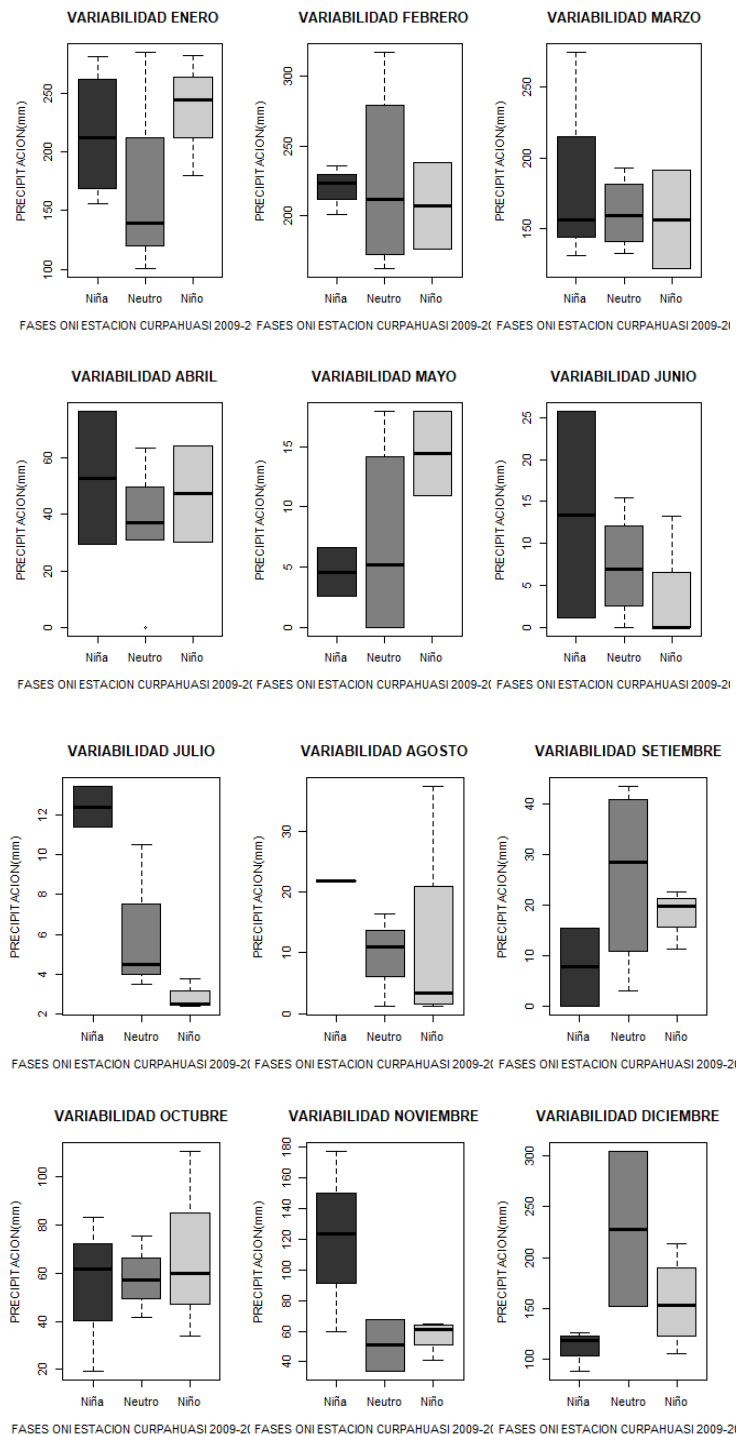


Figura 40. Grupos de precipitación mensualizado según ONI (Curpahuasi).
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 41 se observa los grupos de precipitación mensualizado según las fases del índice ONI para la estación TAMBOBAMBA.

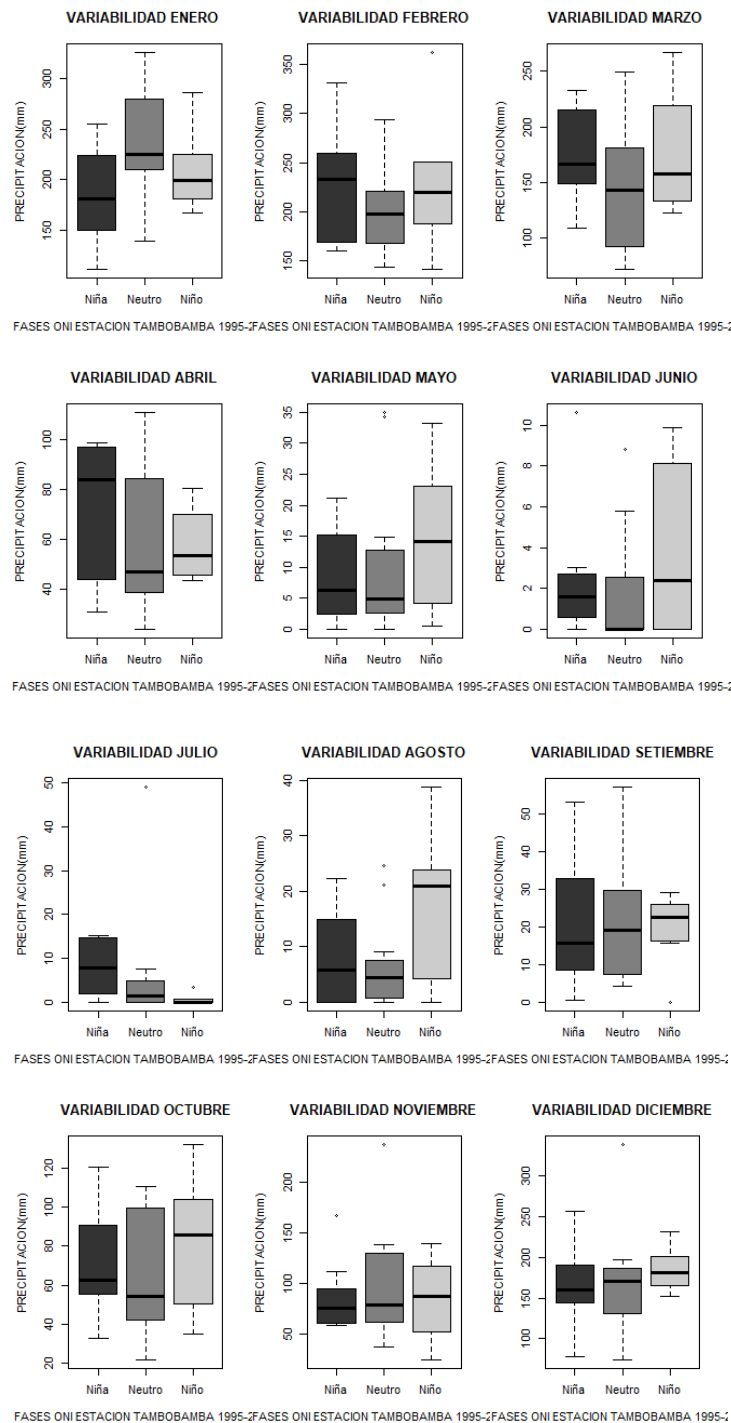


Figura 41. Grupos de precipitación mensualizado según ONI (Tambobamba).

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2.3 Análisis exploratorio gráfico y cuantitativo de la información multianual de la precipitación según ICEN.

Para el análisis de la precipitación se separaron los meses con eventos de La Niña, con valores de ICEN $< -1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$; los eventos del Niño con los valores de ICEN $> +0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y eventos Neutros $-1.0\text{ }^{\circ}\text{C} < \text{ICEN} < +0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ obteniéndose así tres grupos de eventos.

En los grupos de precipitación (datos observados) agrupados según los eventos del índice ICEN, se realizó un análisis grafico exploratorio *boxplot* entre los tres grupos (Ver figuras del 42 al 50), donde se muestran los grupos de precipitación según las fases del índice ICEN para cada estación, para luego realizar diversas pruebas estadísticas de los principales parámetros como son la media y la desviación estándar para cada estación y de esta manera obtener la significancia entre las variaciones de la media y la desviación estándar de los grupos según las fases ENOS y observar la variabilidad entre los grupos y su respectiva validación estadística a través de la prueba ANOVA (Análisis de varianza) que se realizó en el desarrollo del objetivo específico 2.

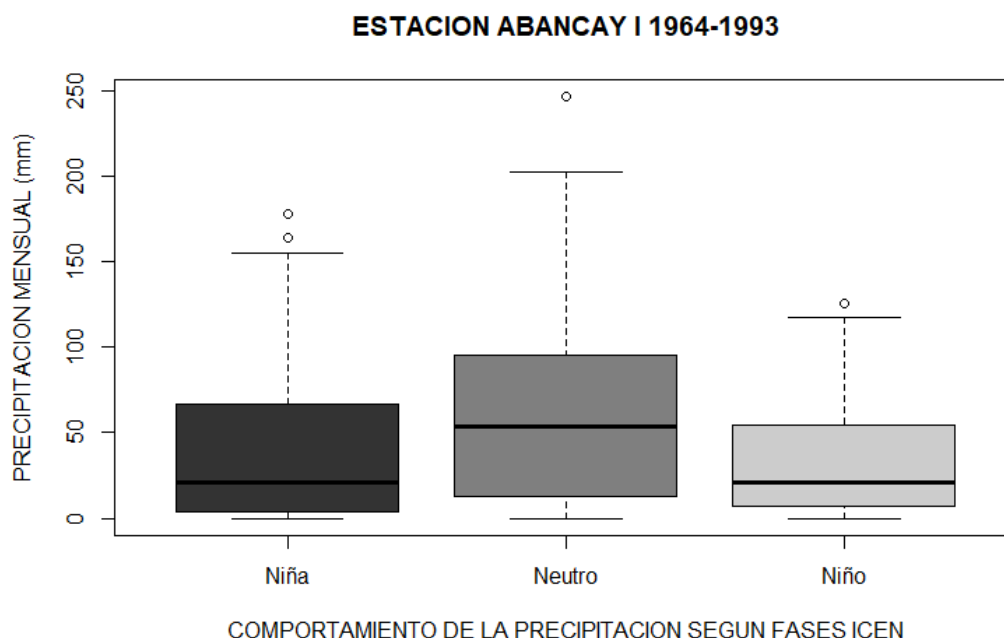


Figura 42. Grupos de precipitación según ICEN en la estación Abancay I.

Fuente: Elaboración propia.

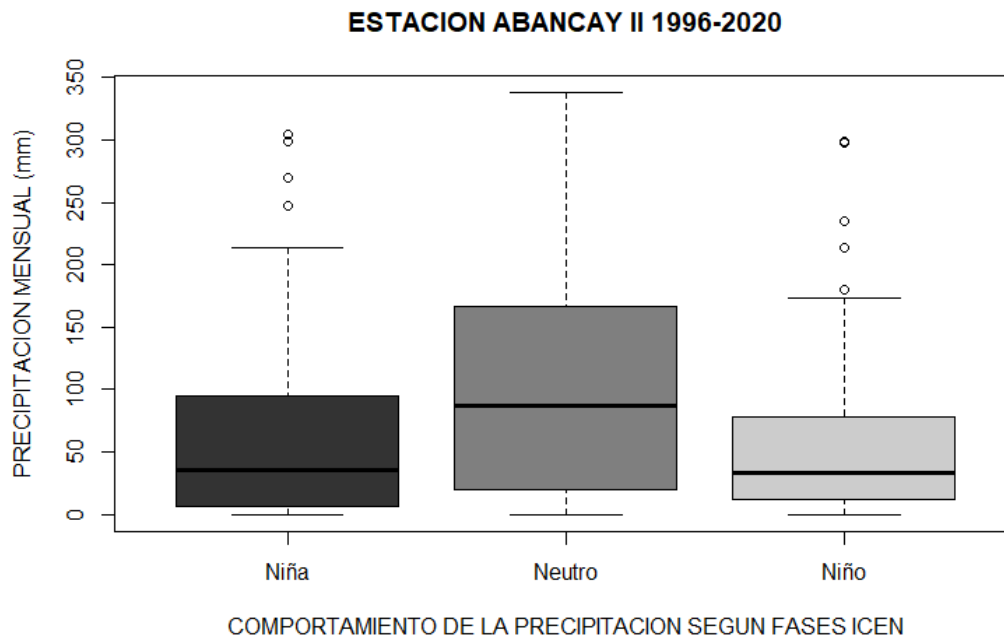


Figura 43. Grupos de precipitación según ICEN en la estación Abancay II.
Fuente: Elaboración propia.

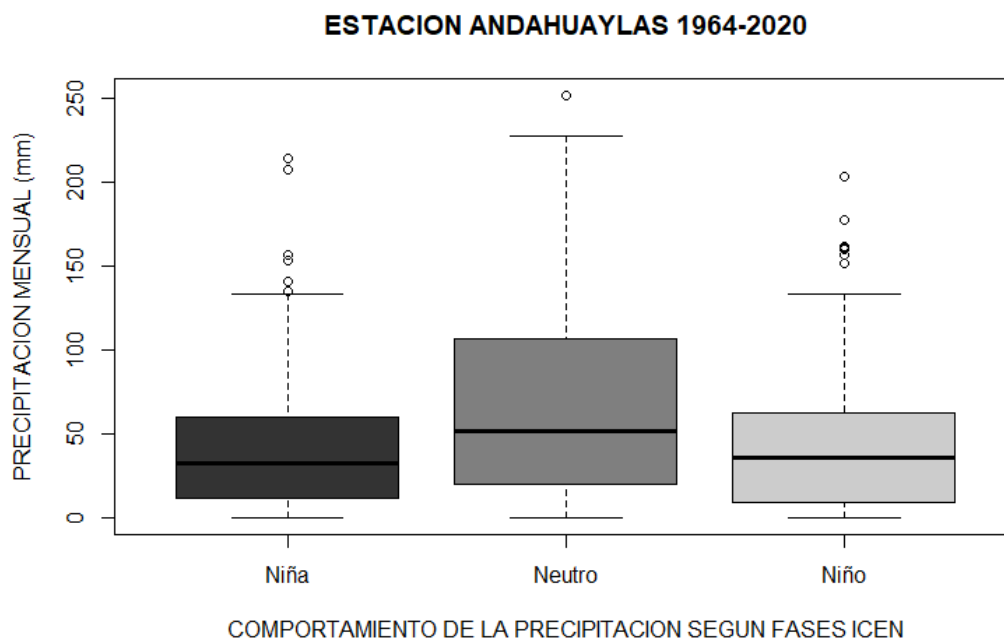


Figura 44. Grupos de precipitación según ICEN en la estación Andahuaylas.
Fuente: Elaboración propia.

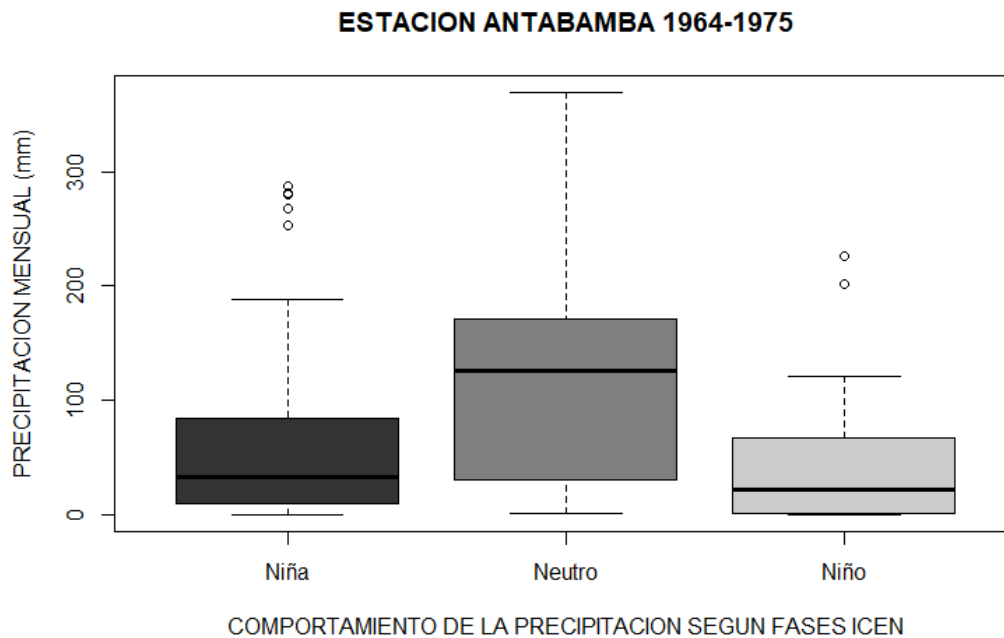


Figura 45. Grupos de precipitación según ICEN en la estación Antabamba.
Fuente: Elaboración propia.

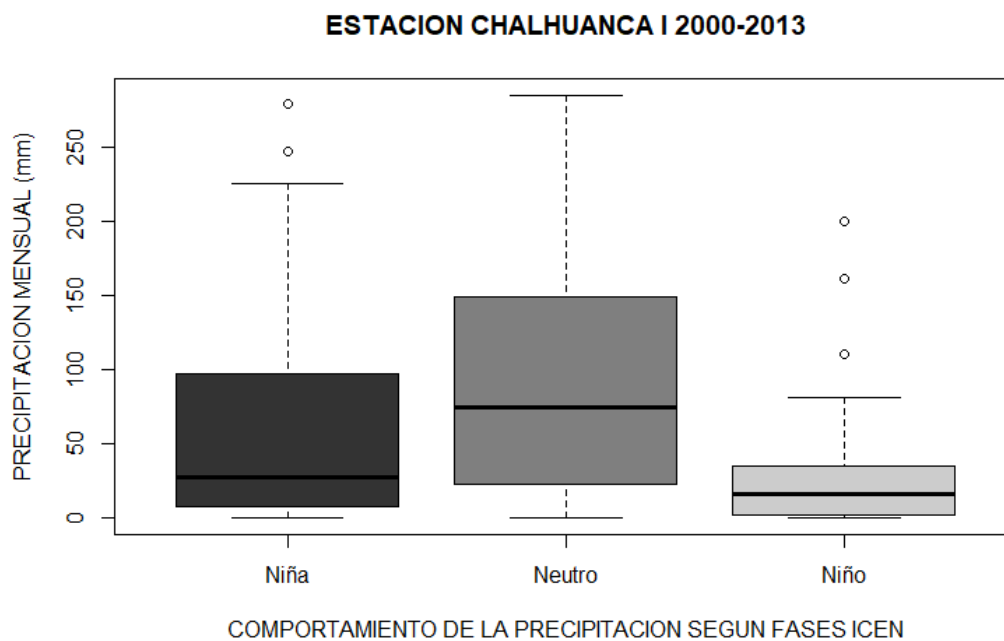


Figura 46. Grupos de precipitación según ICEN en la estación Chalhuanca I.
Fuente: Elaboración propia.

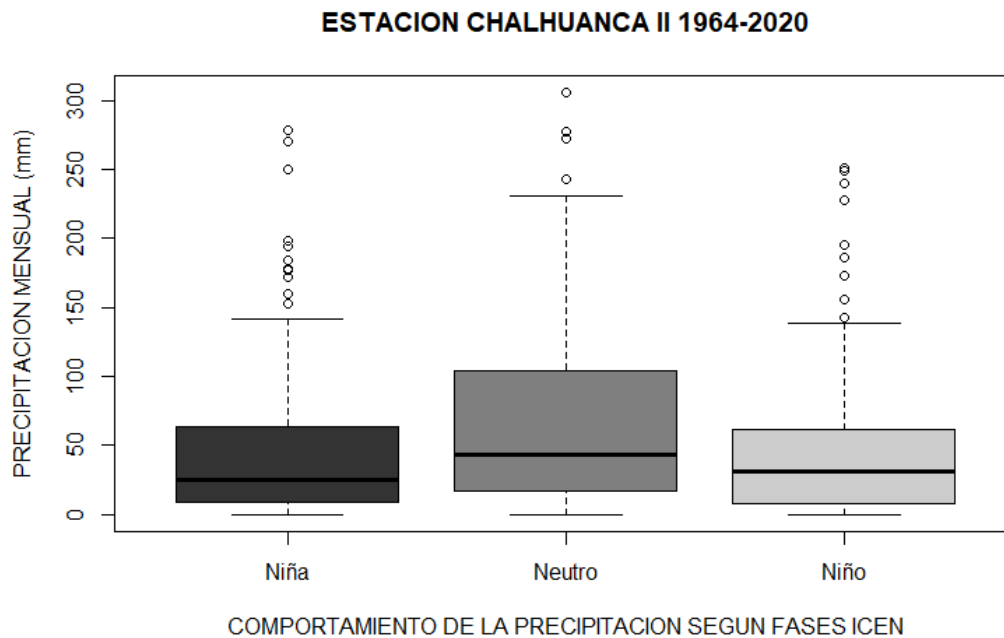


Figura 47. Grupos de precipitación según ICEN en la estación Chalhuanca II.
Fuente: Elaboración propia.

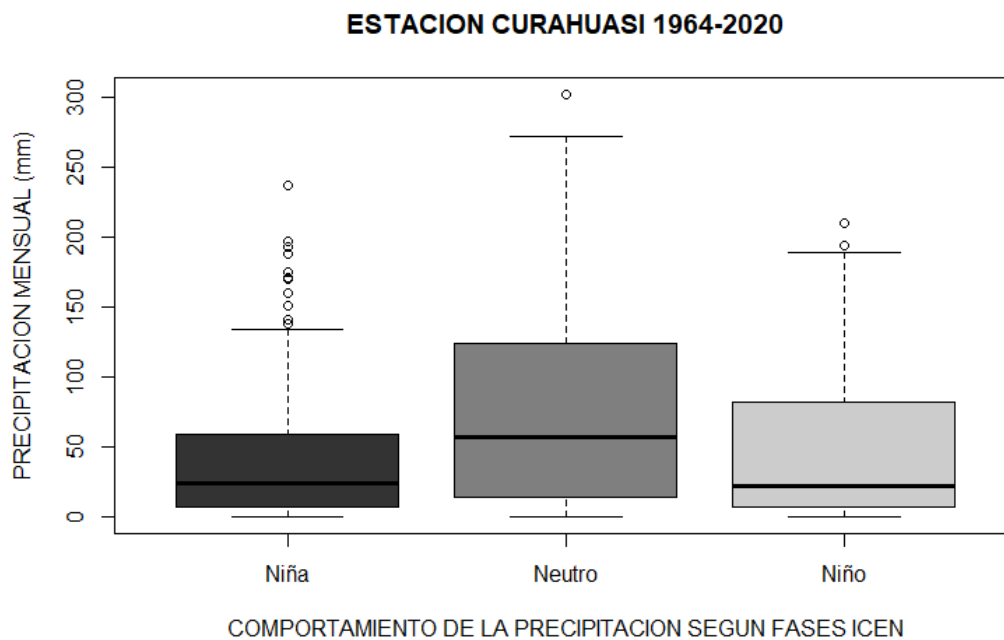


Figura 48. Grupos de precipitación según ICEN en la estación Curahuasi.
Fuente: Elaboración propia.

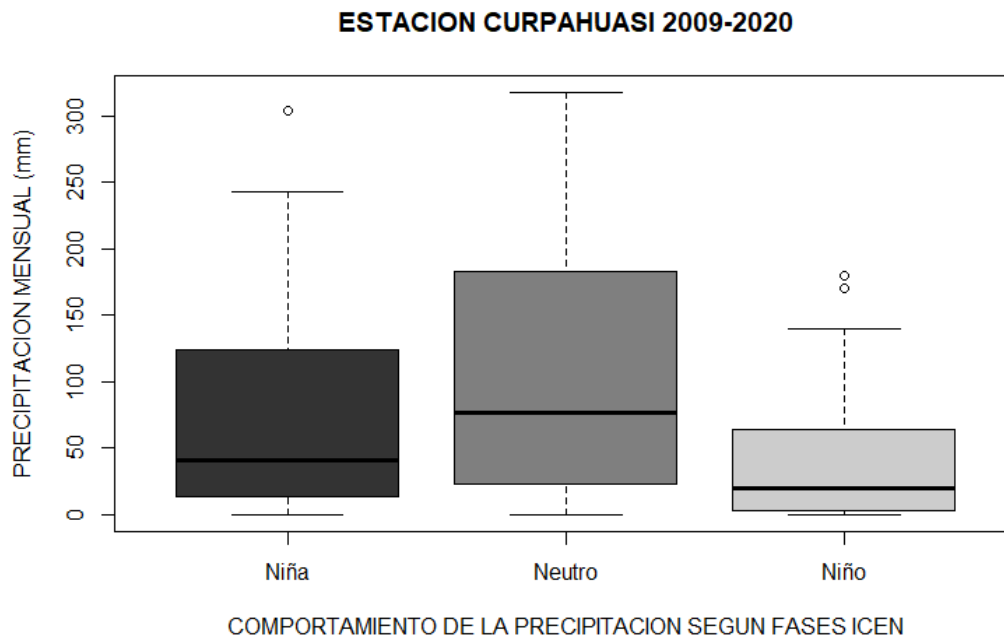


Figura 49. Grupos de precipitación según ICEN en la estación Curpahuasi.
Fuente: Elaboración propia.

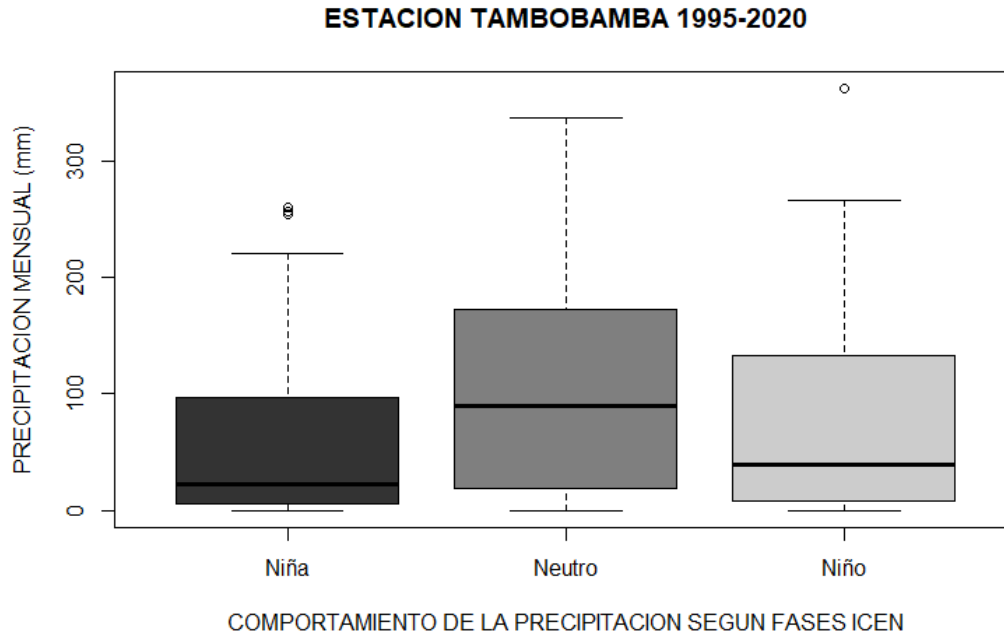


Figura 50. Grupos de precipitación según ICEN en la estación Tambobamba.
Fuente: Elaboración propia.

De los gráficos observados (Figuras 42 al 50) también podemos indicar que en el gráfico de grupos según ICEN en cada estación se puede apreciar ligeras variaciones entre los grupos y que para tener la certeza de la significancia de dicha variación también se realizó el análisis ANOVA para determinar dicha significancia estadística ya que visualmente existe una variación en las medias.

4.2.2.4 Análisis exploratorio gráfico y cuantitativo de la información mensual de la precipitación según ICEN.

Para el análisis de la precipitación mensual se separaron los meses con eventos de La Niña, con valores de ICEN $< -1.0^{\circ}\text{C}$; los eventos del Niño con los valores de ICEN $> +0,4^{\circ}\text{C}$ y eventos Neutros $-1.0^{\circ}\text{C} < \text{ICEN} < +0,4^{\circ}\text{C}$ obteniéndose así tres grupos de eventos.

Así también en los grupos de precipitación (datos observados) agrupados a nivel mensual según los eventos del índice ICEN, se realizó un análisis gráfico exploratorio *boxplot* entre los tres grupos (Ver figuras del 51 al 59), donde se muestran los grupos de precipitación según las fases del índice ICEN analizado para los doce meses y para cada estación, para luego realizar diversas pruebas estadísticas de los principales parámetros como son la media y la desviación estándar para cada estación y de esta manera obtener la significancia entre las variaciones de la media y la desviación estándar de los grupos según las fases ENOS y observar la variabilidad entre los grupos y su respectiva validación estadística a través de la prueba ANOVA (Análisis de varianza) que se realizó en el desarrollo del objetivo específico 2.

En el caso del análisis mensualizado de la variabilidad en cada mes se realizaron a través de la exploración gráfica *boxplot* los gráficos (Figuras 51 al 59) de los cuales podemos indicar que en el gráfico de grupos según ICEN en cada estación se aprecia en cada uno de ellos ligeras variación entre los grupos y que para tener la certeza de la significancia de dicha variación se realizó el análisis ANOVA para determinar dicha significancia estadística ya que visualmente se aprecia una variación, sin embargo se tuvo el inconveniente que en algunos meses no se cuenta con la cantidad necesaria de datos para lograr obtener una buena representación, aun así se pueden observar las ligeras variaciones entre cada grupo.

En la Figura 51 se observa los grupos de precipitación mensualizado según las fases del índice ICEN para la estación ABANCAY I.

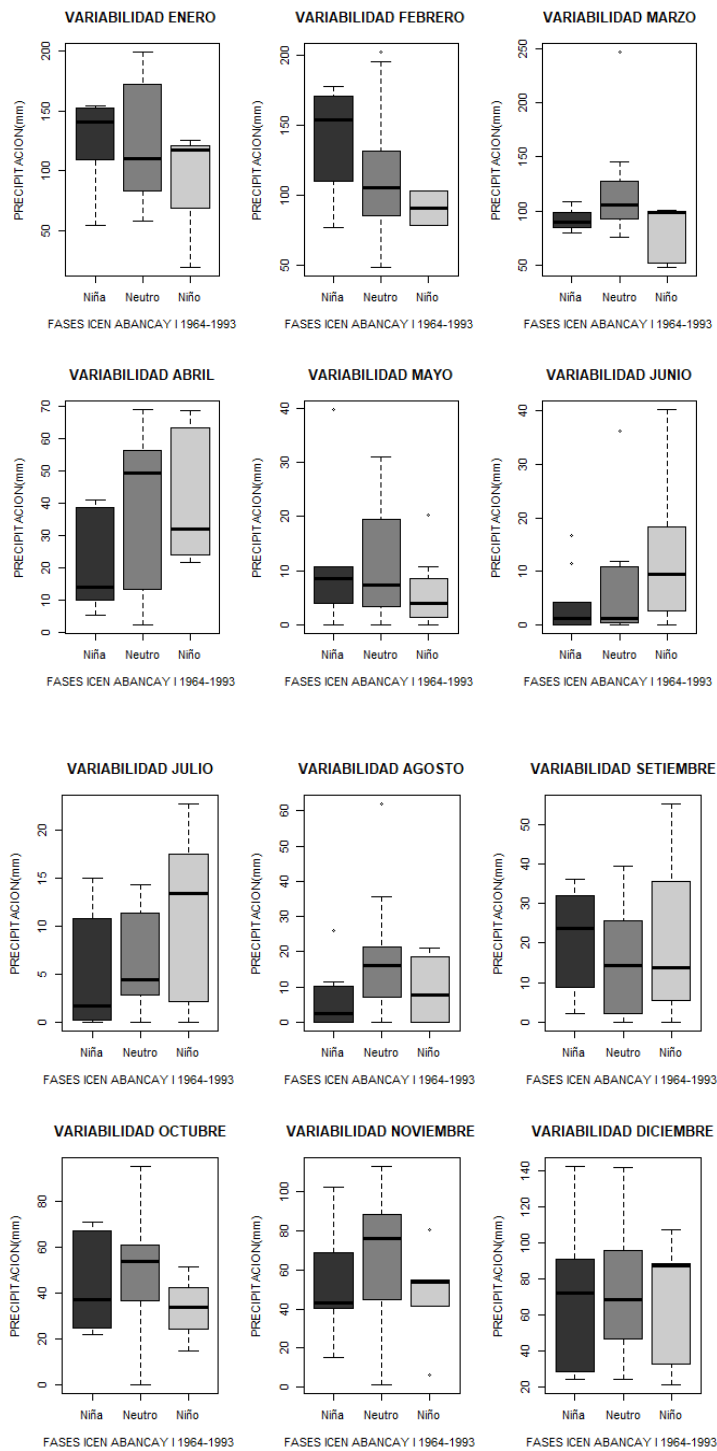


Figura 51. Grupos de precipitación mensualizado según ICEN (Abancay I).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 52 se observa los grupos de precipitación mensualizado según las fases del índice ICEN para la estación ABANCAY II.

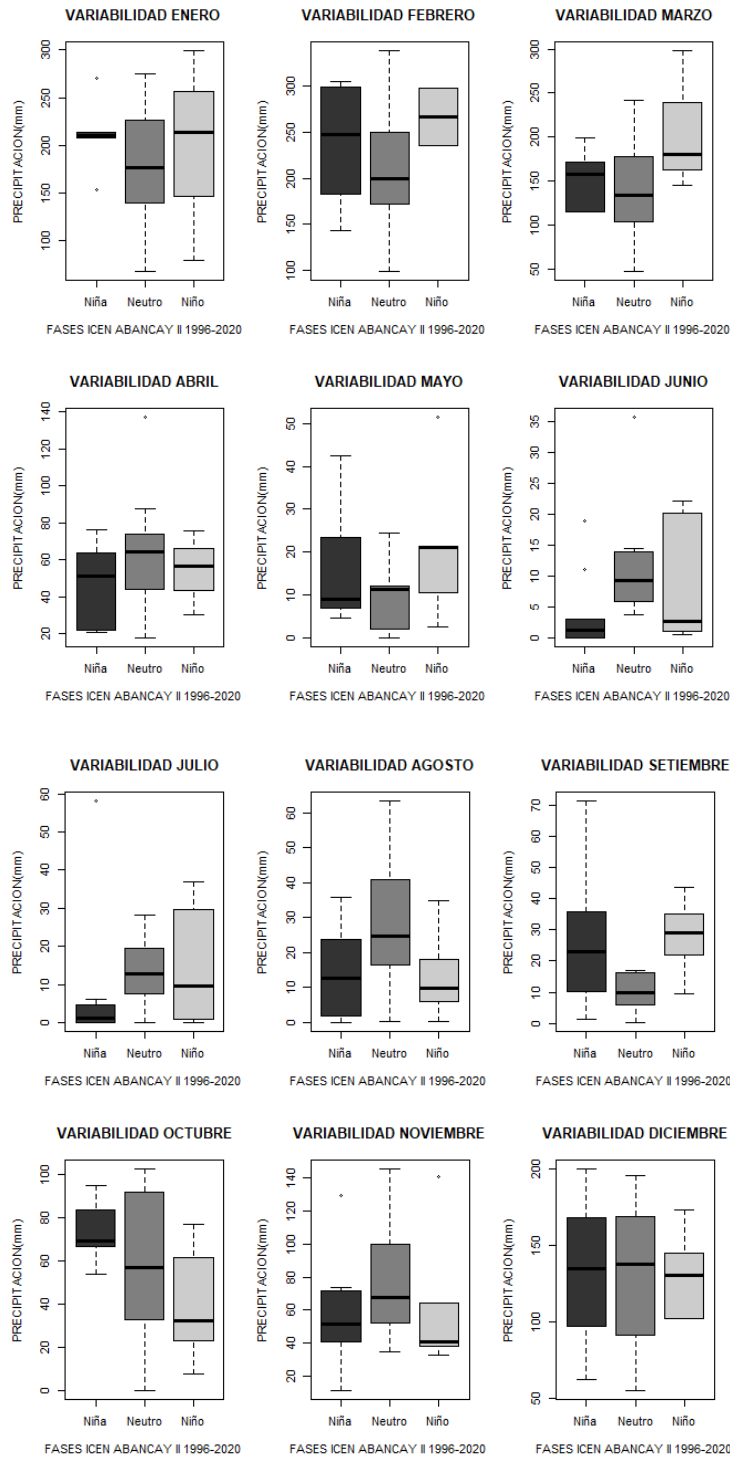


Figura 52. Grupos de precipitación mensualizado según ICEN (Abancay II).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 53 se observa los grupos de precipitación mensualizado según las fases del índice ICEN para la estación ANDAHUAYLAS.

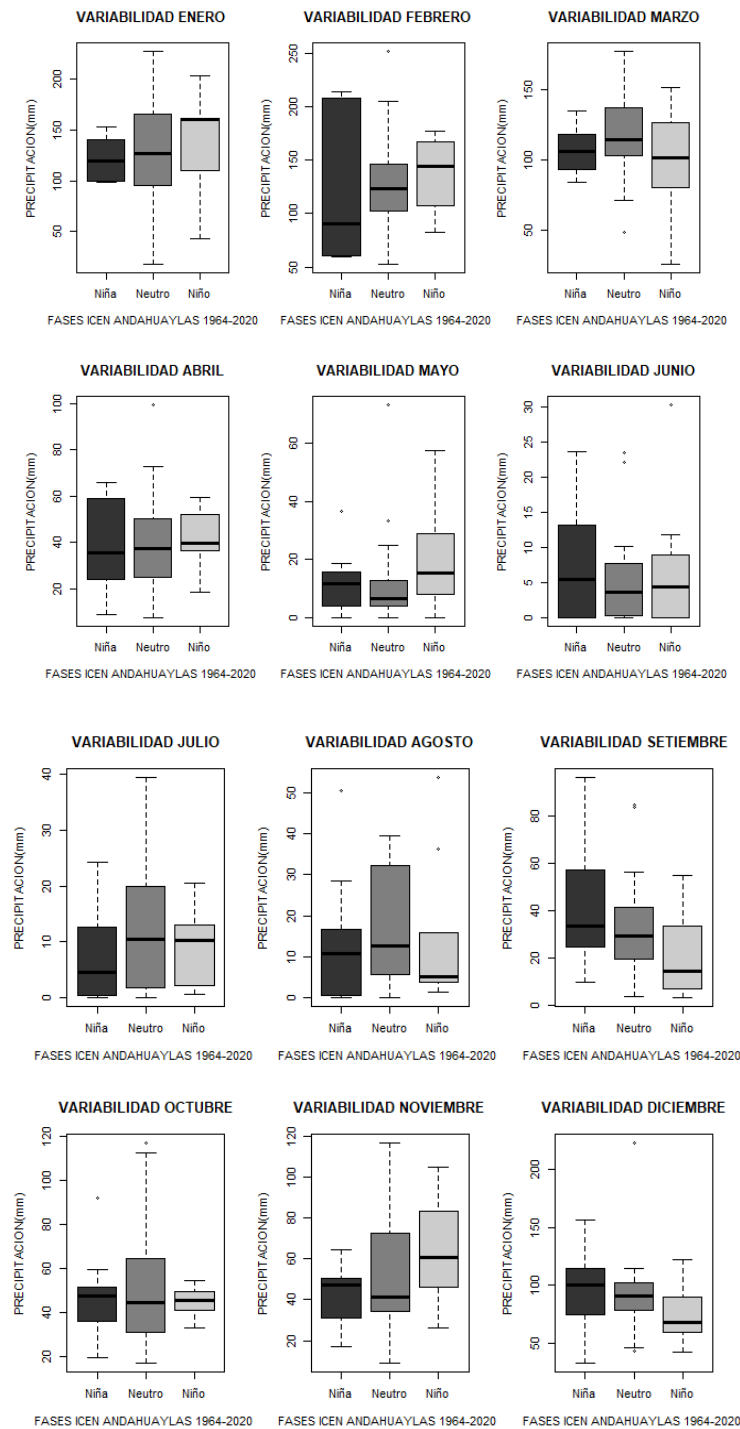


Figura 53. Grupos de precipitación mensualizado según ICEN (Andahuaylas)

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 54 se observa los grupos de precipitación mensualizado según las fases del índice ICEN para la estación ANTABAMBA.

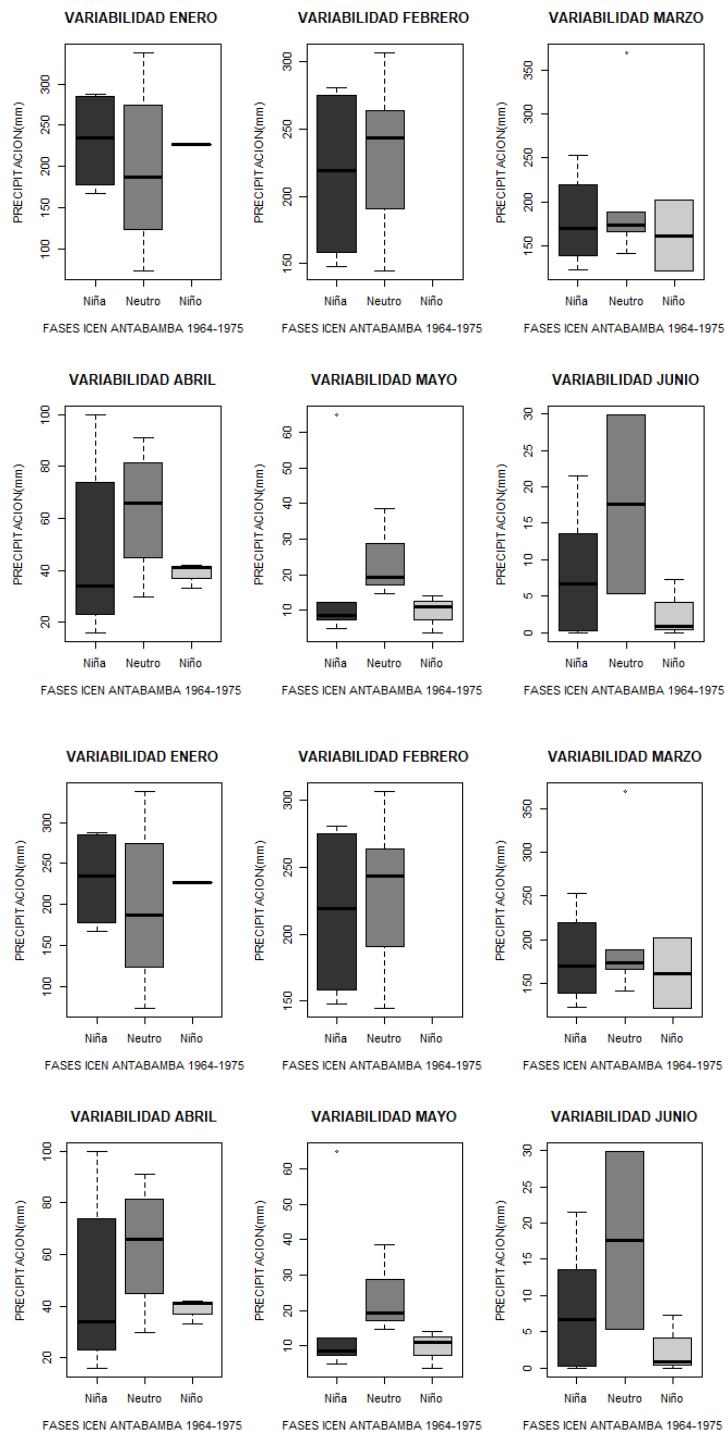


Figura 54. Grupos de precipitación mensualizado según ICEN (Antabamba).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 55 se observa los grupos de precipitación mensualizado según las fases del índice ICEN para la estación CHALHUANCA I.

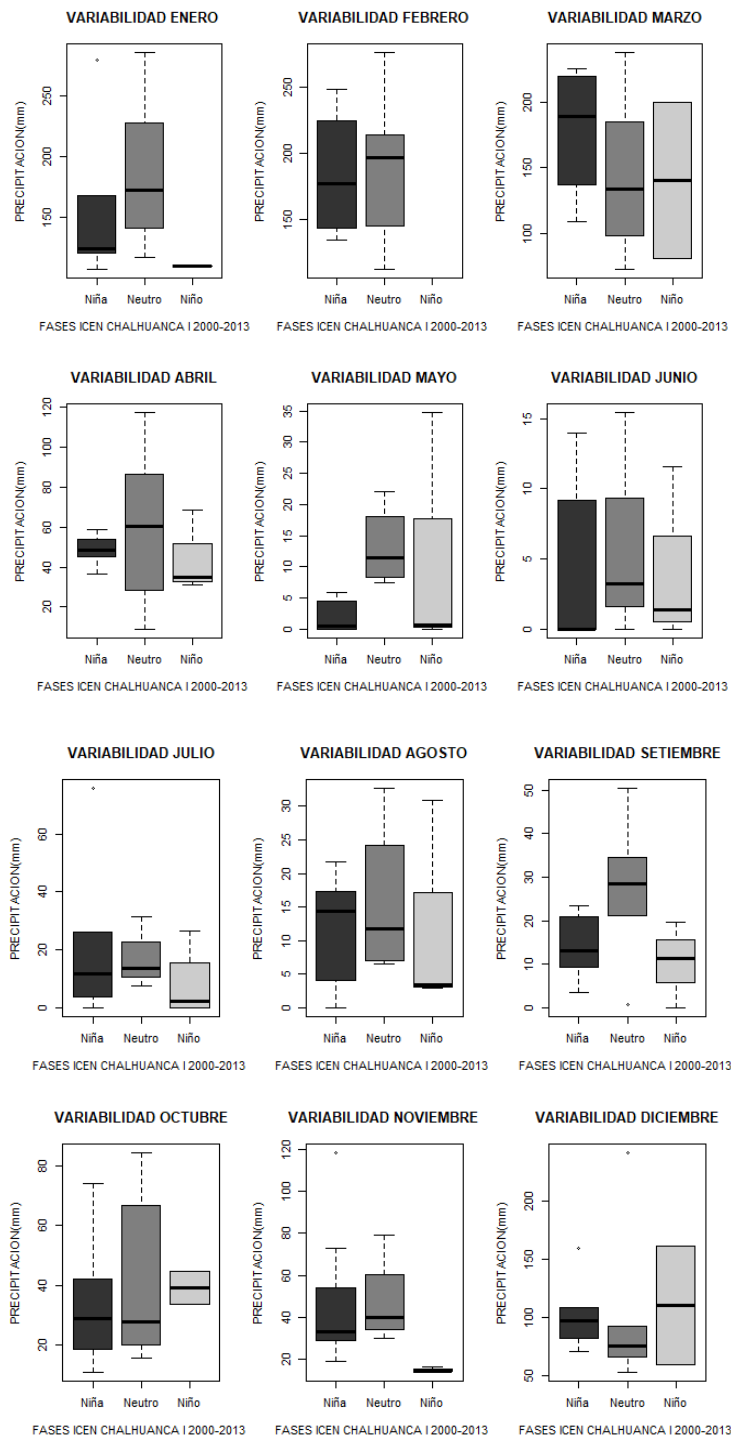


Figura 55. Grupos de precipitación mensualizado según ICEN (Chalhuanca I).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 56 se observa los grupos de precipitación mensualizado según las fases del índice ICEN para la estación CHALHUANCA II.

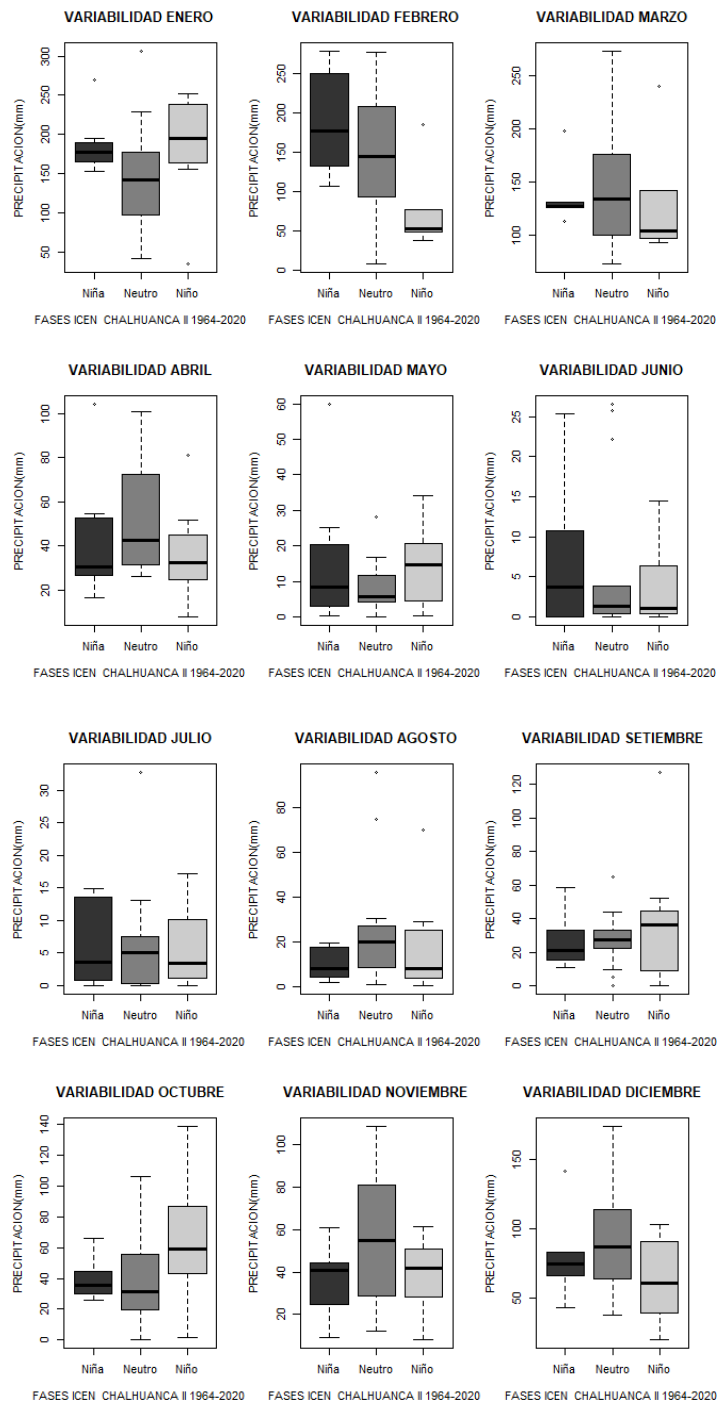


Figura 56. Grupos de precipitación mensualizado según ICEN (Chalhuanca II).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 57 se observa los grupos de precipitación mensualizado según las fases del índice ICEN para la estación CURAHUASI.

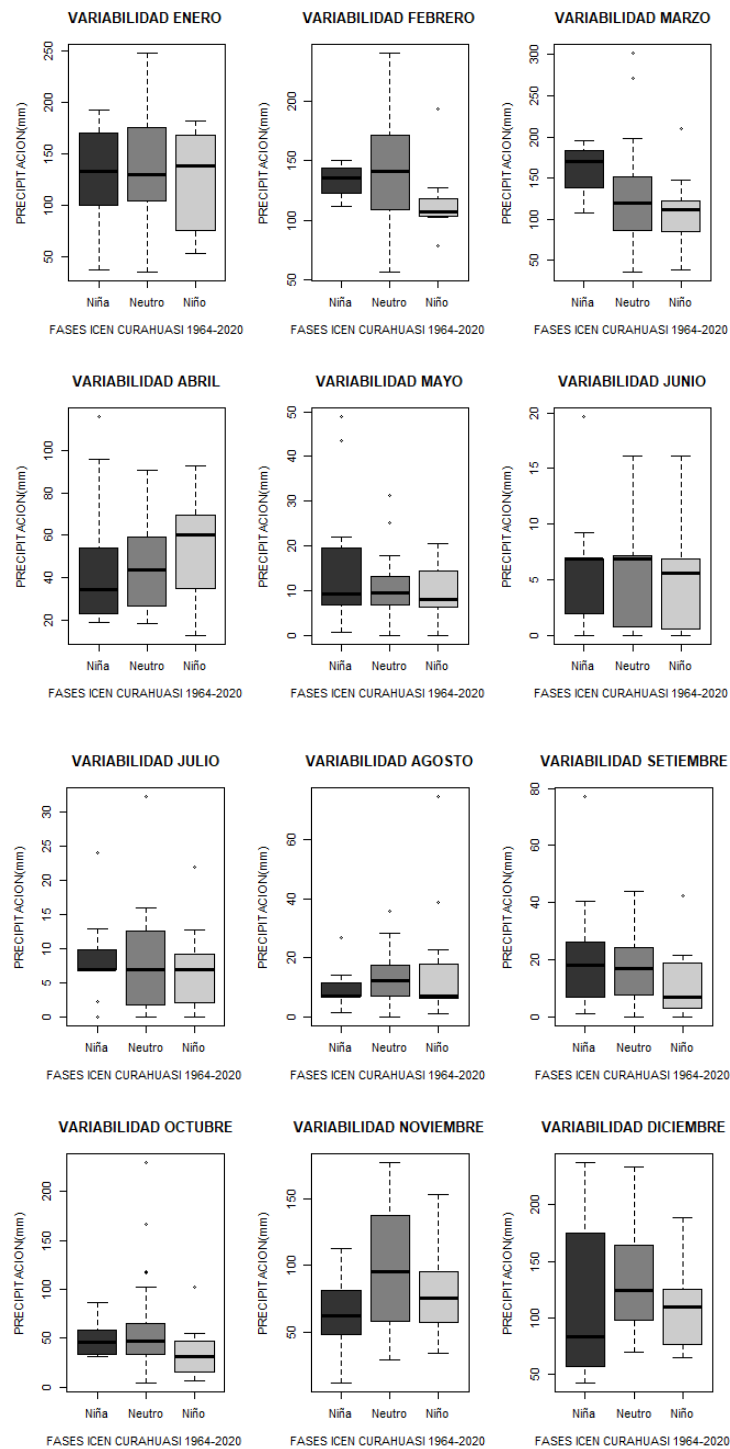


Figura 57. Grupos de precipitación mensualizado según ICEN (Curahuasi).

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 58 se observa los grupos de precipitación mensualizado según las fases del índice ICEN para la estación CURPAHUASI.

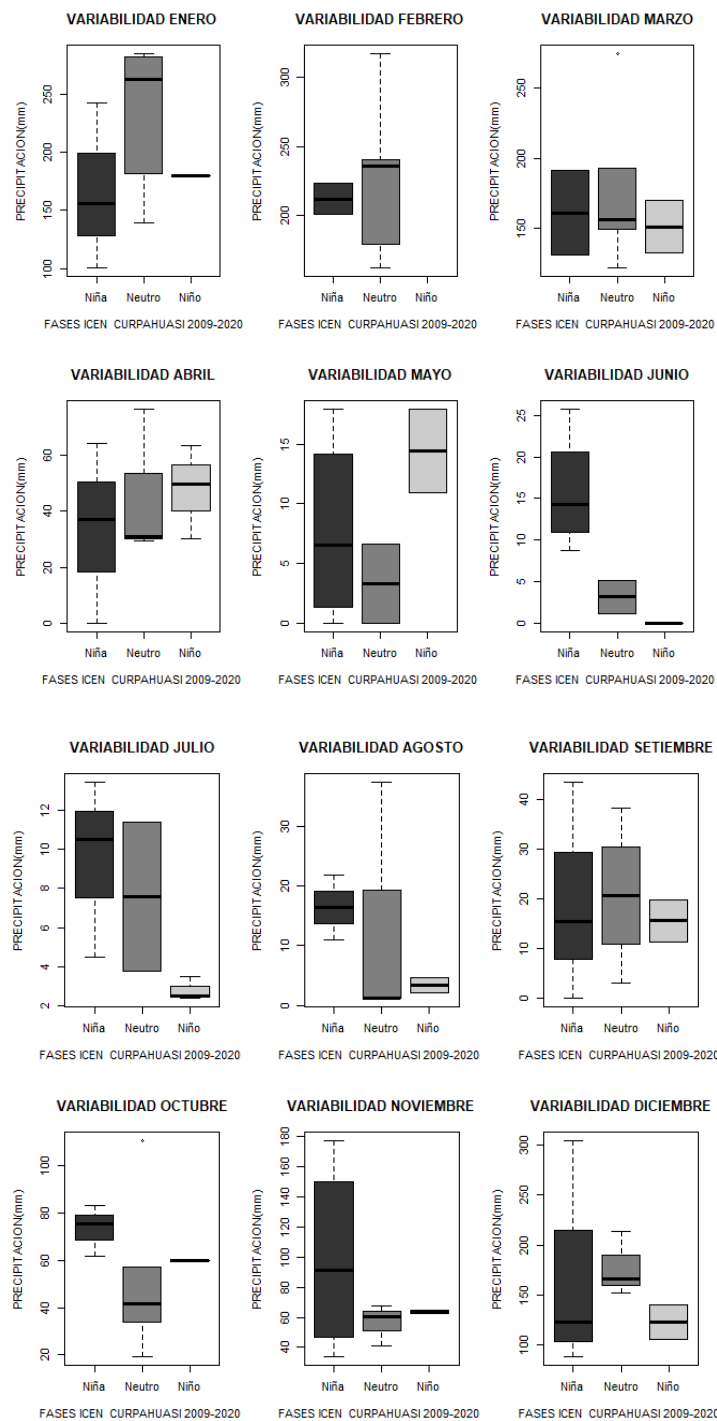


Figura 58. Grupos de precipitación mensualizado según ICEN (Carpahuasi).
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 59 se observa los grupos de precipitación mensualizado según las fases del índice ICEN para la estación TAMBOBAMBA.

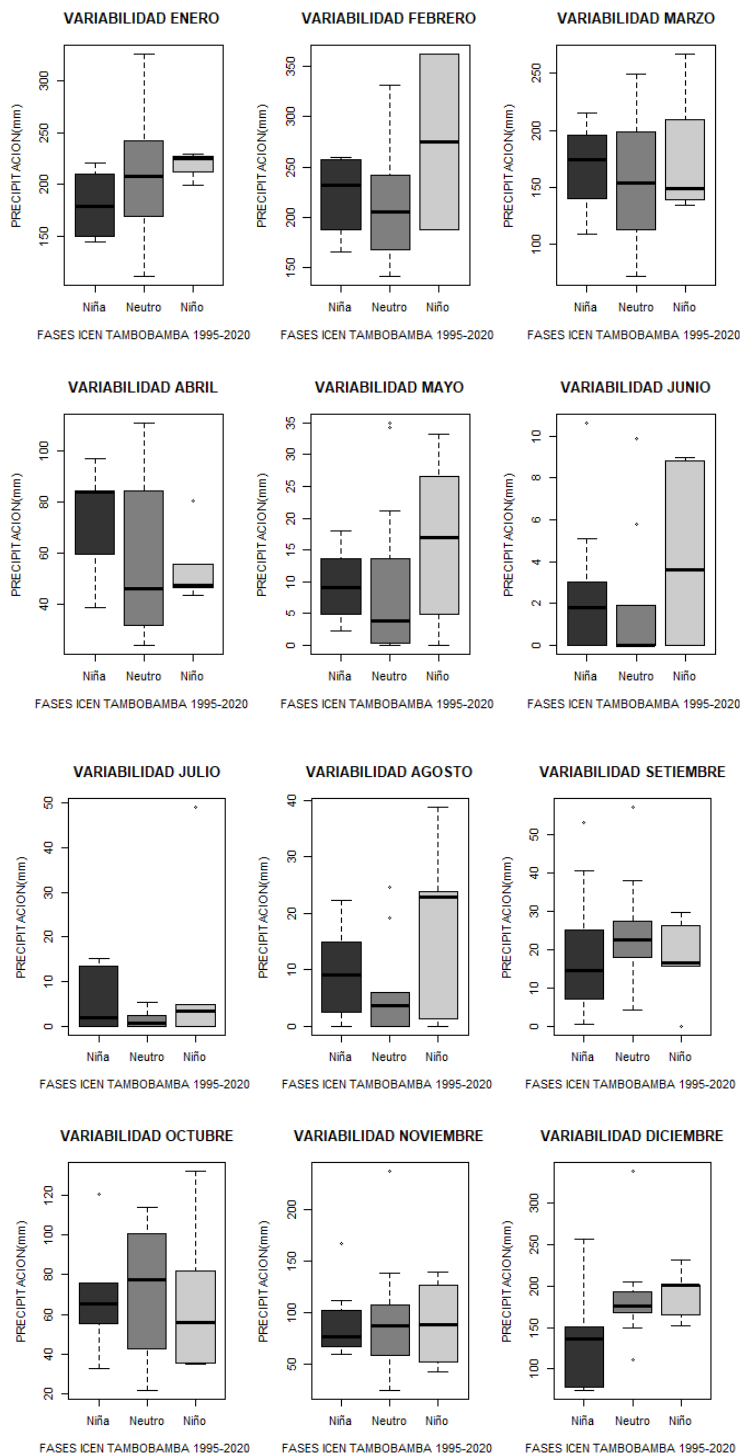


Figura 59. Grupos de precipitación mensualizado según ICEN (Tambobamba).

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Relación entre índices de teleconexión y la precipitación mensual.

En los grupos de precipitación según ENOS (observados en las series históricas) se realizaron diversas pruebas estadísticas de los principales parámetros como son la media y la desviación estándar para cada estación y de esta manera obtener una validación adecuada a dichos datos. La prueba realizada fue el Análisis de varianza ANOVA. (Tablas 11 y 12). La metodología de análisis de la variabilidad entre los índices de teleconexión y la precipitación se muestra en la Figura 30 y los resultados del análisis ANOVA se muestran en la Tablas 11 para los grupos de comportamiento según las fases ONI y Tabla 12 para los grupos de comportamiento según las fases ICEN.

Tabla 11. Análisis ANOVA para los grupos de comportamiento según ONI.

Nombre	F	Pr(>p)		Correlación Pearson
Abancay I	0.472	0.6240		-0.057980
Abancay II	0.203	0.8160		0.027910
Andahuaylas	6.805	0.0012	**	-0.073165
Antabamba	0.011	0.9890		-0.034220
Chalhuanca I	0.008	0.9920		-0.035890
Chalhuanca II	3.419	0.0337	**	-0.089570
Curahuasi	5.944	0.0028	**	-0.007400
Curpahuasi	0.982	0.3780		-0.083250
Tambobamba	2.348	0.0930		0.038890

** Significancia al 95%

***Significancia al 99%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Análisis ANOVA para los grupos de comportamiento según ICEN.

Nombre	F	Pr(>p)		Correlación Pearson
Abancay I	8.1015	0.0004	***	-0.012600
Abancay II	4.935	0.0079	**	0.000320
Andahuaylas	11.57	0.0000	***	-0.008410
Antabamba	9.677	0.0002	***	0.014690
Chalhuanca I	8.133	0.0004	***	-0.054060
Chalhuanca II	3.843	0.0223	*	-0.032690
Curahuasi	16.3	0.0000	***	-0.018470
Curpahuasi	4.823	0.0100	**	-0.077980
Tambobamba	6.425	0.0019	**	0.056080

* Significancia al 90%

** Significancia al 95%

***Significancia al 99%

Fuente: Elaboración propia.

De las Tablas 11 y 12, podemos observar que el índice de teleconexión ICEN en todas las estaciones se tiene significancias al 90, 95 y 99%, indicando claramente que entre los grupos o fases existe variaciones en la media y varianza, y que el índice ONI solamente tiene tres estaciones con significancia al 95%, indicando que en los grupos de precipitación no existe significancia en la media y varianza.

Así mismo se ha podido analizar mediante la correlación lineal obteniendo los coeficientes de Pearson valores diferentes de cero que indican claramente una ligera variación de la precipitación respecto al incremento de la temperatura superficial del mar reflejándose en los valores de los índices de teleconexión.

4.3.1 Relación entre el Índice Oceánico de El Niño (ONI) y la precipitación para cada estación a escala multianual.

Se correlacionó información de lluvia a escala multianual para los períodos disponibles en cada estación con modelos de regresión lineal simple para cada estación, estimando los coeficientes de correlación parcial, la correlación se realizó para un rezago (Lag 0) es decir sin rezago mensual debido a que el índice ONI es el resultado de la variación del incremento de la temperatura superficial de tres mes consecutivas (media móvil) del cual se observa que la mayoría de las estaciones tienen una correlación negativa a excepción de la estación Abancay II y Tambobamba (ver Tabla 13).

Tabla 13. Coeficiente de correlación Pearson según ONI.

Estación	Correlación Pearson
Abancay I	-0.057980
Abancay II	0.027910
Andahuaylas	-0.073165
Antabamba	-0.034220
Chalhuanca I	-0.035890
Chalhuanca II	-0.089570
Curahuasi	-0.007400
Curpahuasi	-0.083250
Tambobamba	0.038890

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de correlación se realizó para cada estación para observar la variabilidad sin rezago (Lag 0) el cual se presenta en las Figuras 60 al 68.

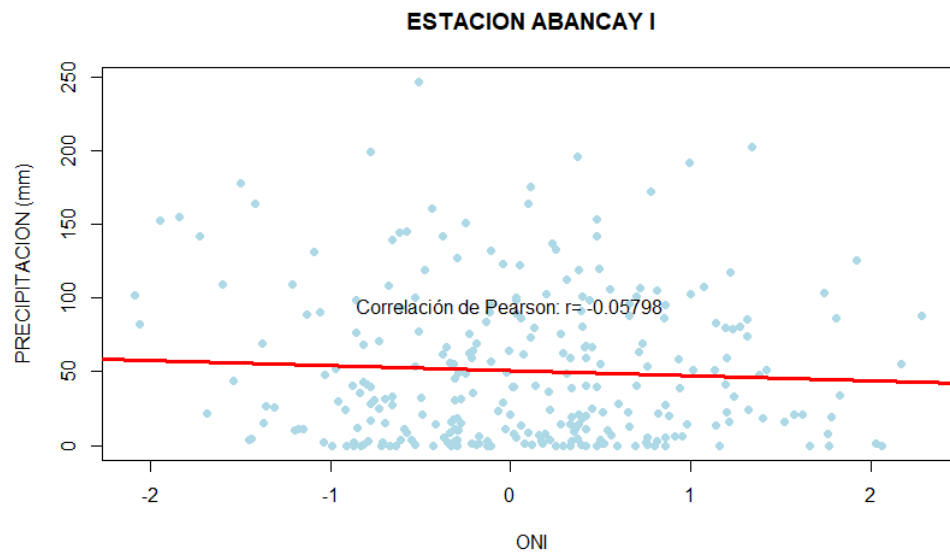


Figura 60. Correlación de Pearson según ONI en la estación Abancay I.

Fuente: Elaboración propia.

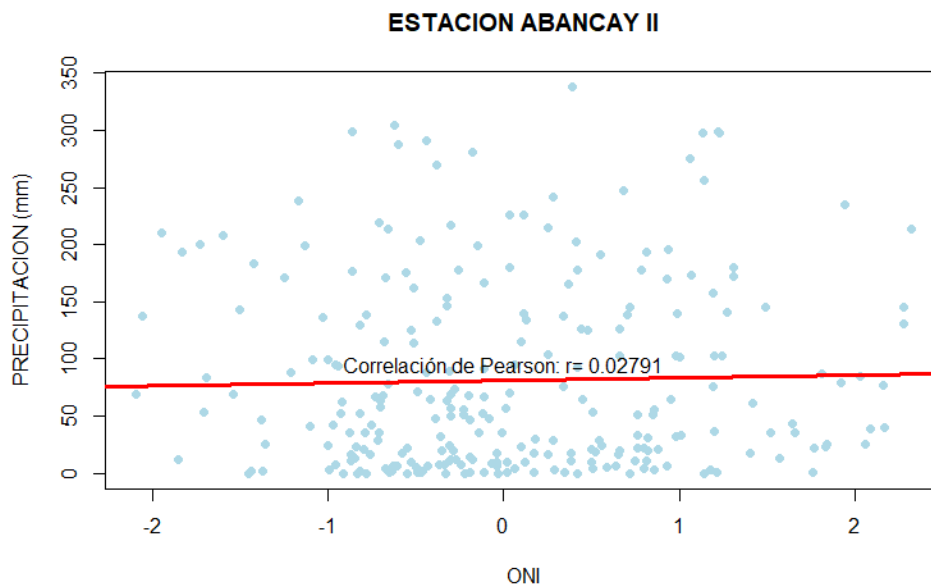


Figura 61. Correlación de Pearson según ONI en la estación Abancay II.

Fuente: Elaboración propia.

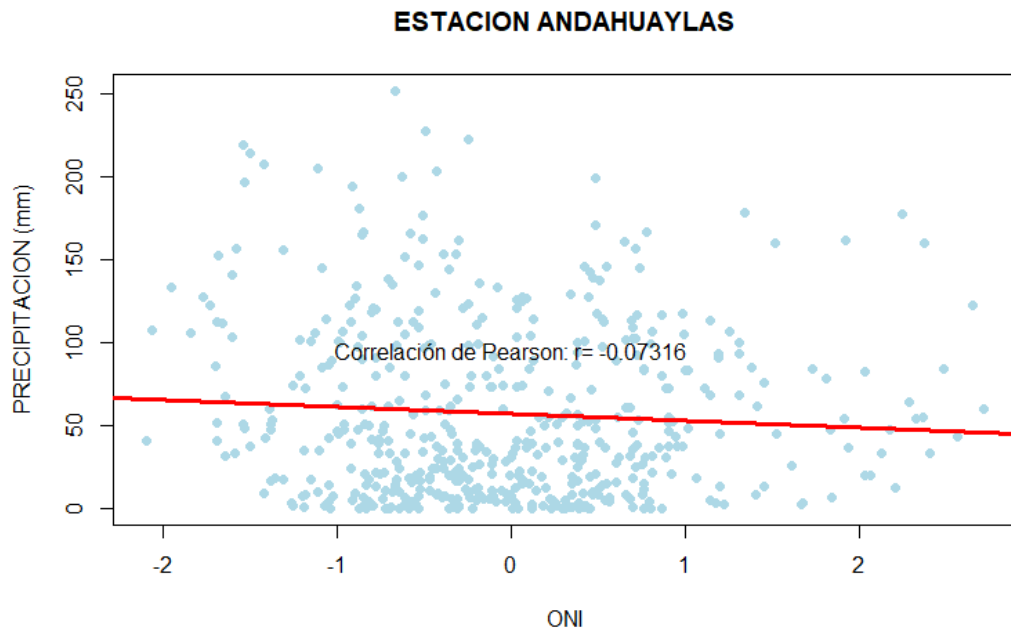


Figura 62. Correlación de Pearson según ONI en la estación Andahuaylas.
Fuente: Elaboración propia.

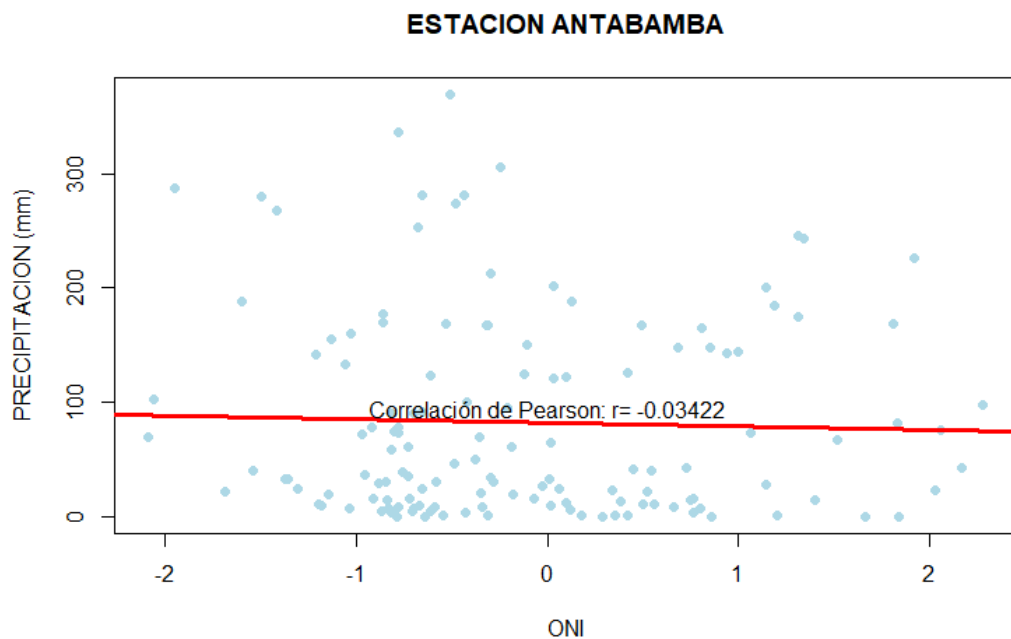


Figura 63. Correlación de Pearson según ONI para la estación Antabamba.
Fuente: Elaboración propia.

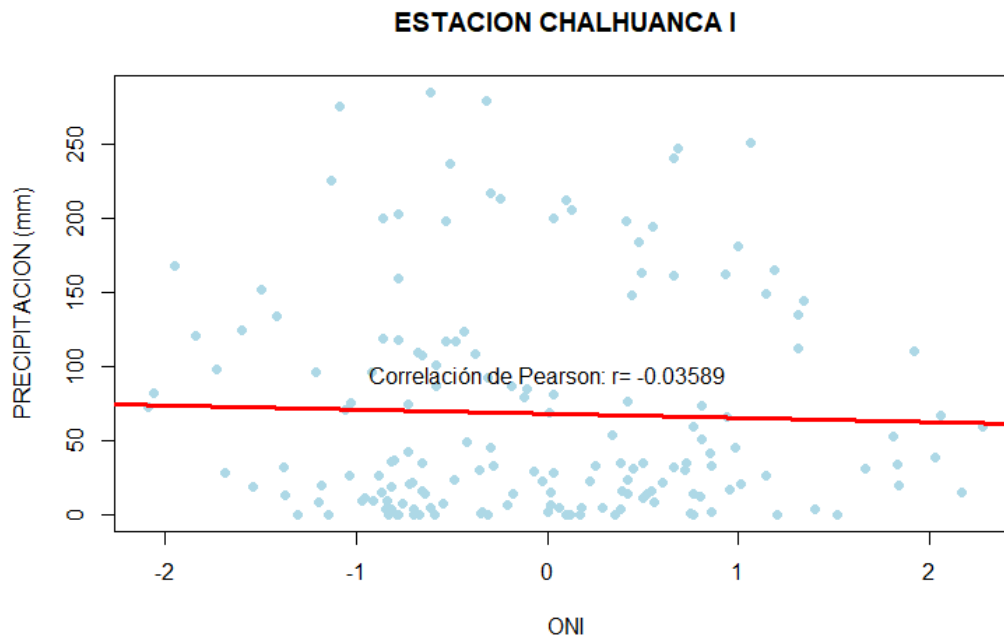


Figura 64. Correlación de Pearson según ONI de la estación Chalhuanca I.
Fuente: Elaboración propia.

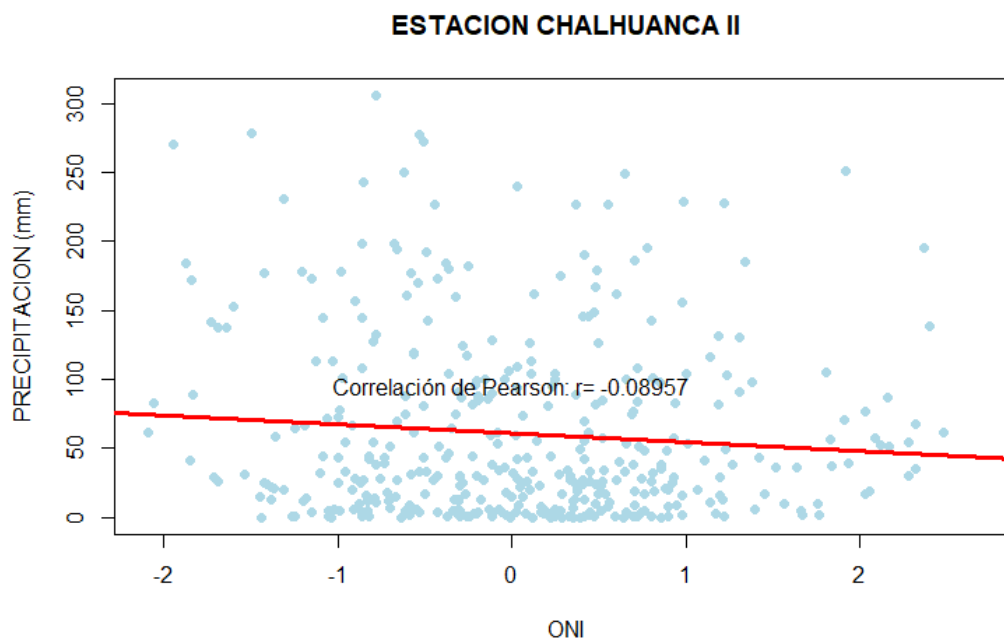


Figura 65. Correlación de Pearson según ONI para la estación Chalhuanca II.
Fuente: Elaboración propia.

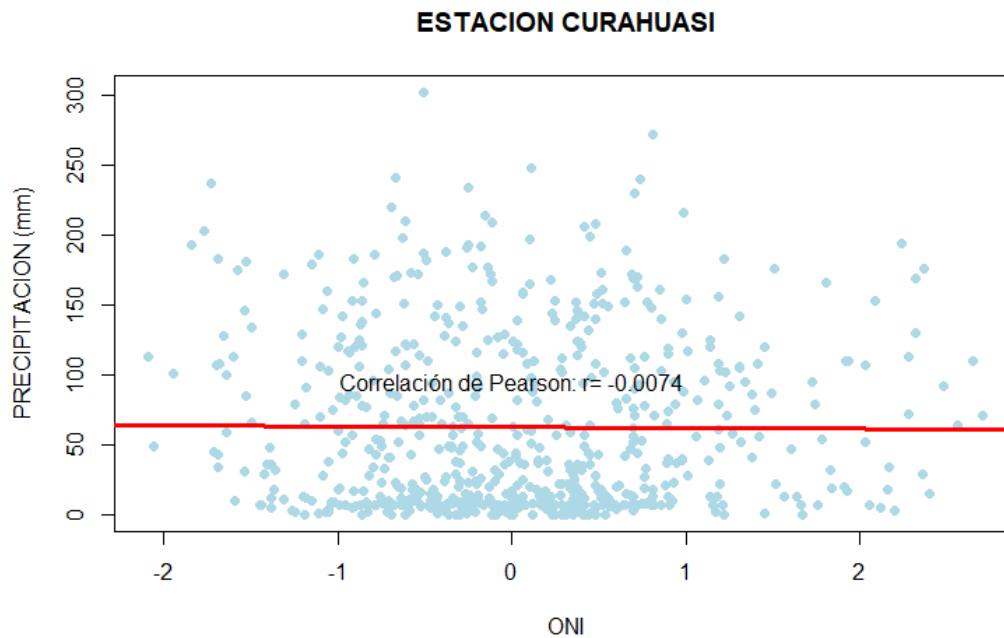


Figura 66. Correlación de Pearson según ONI en la estación Curahuasi.
Fuente: Elaboración propia.

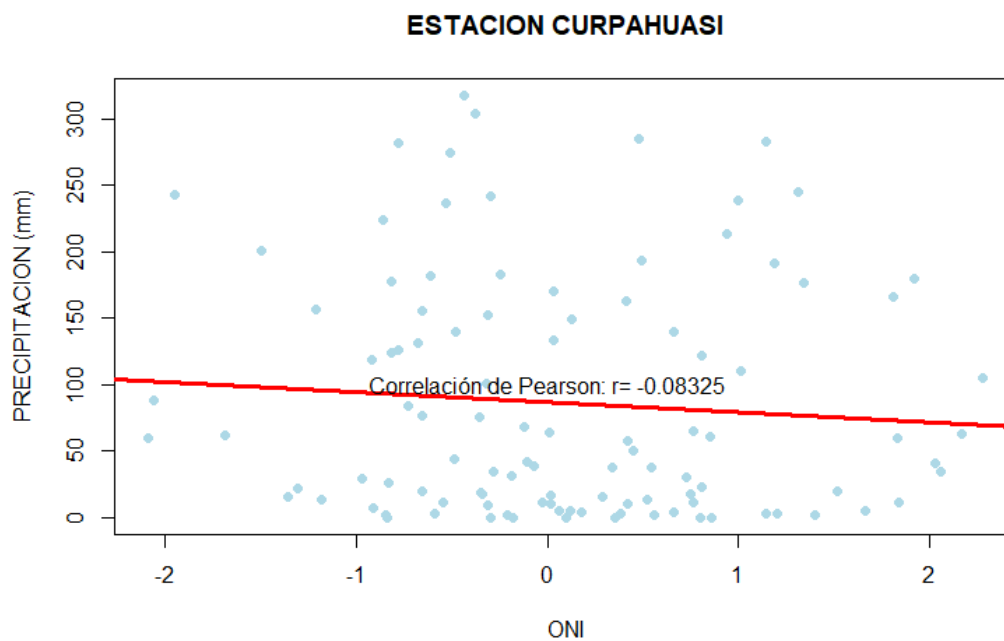


Figura 67. Correlación de Pearson según ONI para la estación Curpahuasi.
Fuente: Elaboración propia.

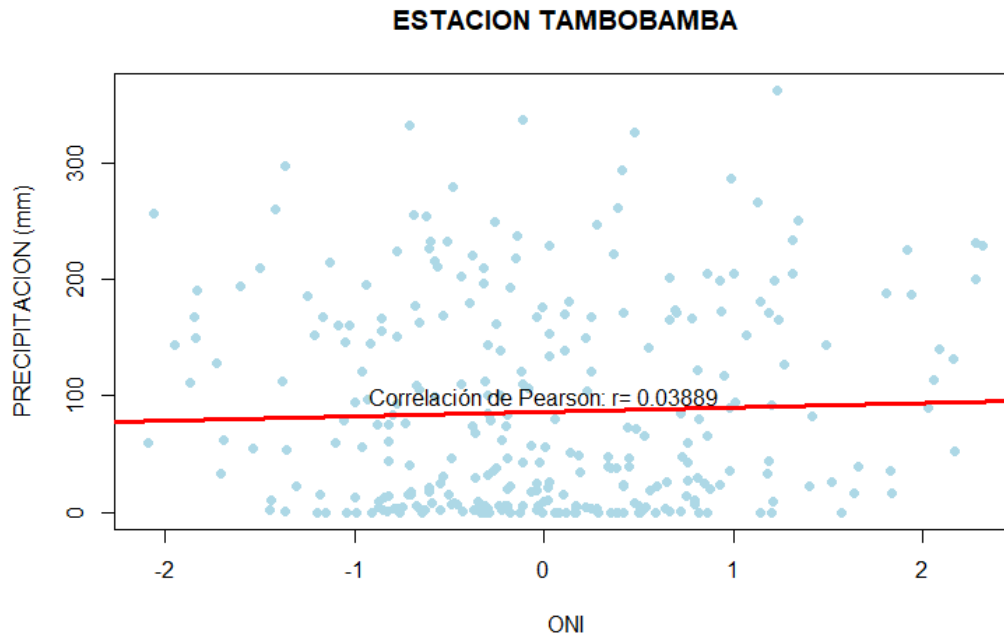


Figura 68. Correlación de Pearson según ONI para la estación Tambobamba.
Fuente: Elaboración propia.

De lo observado en los gráficos anteriores se pudo indicar que existe una ligera tendencia entre los índices de teleconexión y las variables climáticas como la temperatura y la precipitación, lo que nos permite establecer una cierta correspondencia del incremento de la temperatura superficial del mar TSM en el océano Pacífico ecuatorial con la influencia sobre las condiciones océano atmosféricas a nivel mundial y que de los resultados mostrados se pudo observar que también influye en los andes peruanos con diferente magnitud (Muñoz Marín 2008) y (Ramírez et al 2018).

4.3.2 Relación entre el Índice Oceánico de El Niño (ONI) y la precipitación mensualizada para cada estación.

Se correlacionó información de lluvia mensual para los períodos disponibles en cada estación con modelos de regresión lineal simple para cada estación, estimando los coeficientes de correlación parcial, la correlación se realizó para diferentes periodos de retraso de hasta doce meses posteriores al incremento de la temperatura superficial del mes (Figura 69) del cual se observa que la mayoría de las estaciones tienen una correlación negativa a excepción de la estación Abancay II y Tambobamba. Cada correlación fue evaluado estadísticamente al nivel de significancia del 1% ó 5%, empleando el programa Rstudio.

En la Figura 69 se muestra la correlación de Pearson de la precipitación según índice ONI en las estaciones consideradas para los periodos disponibles del departamento de Apurímac.

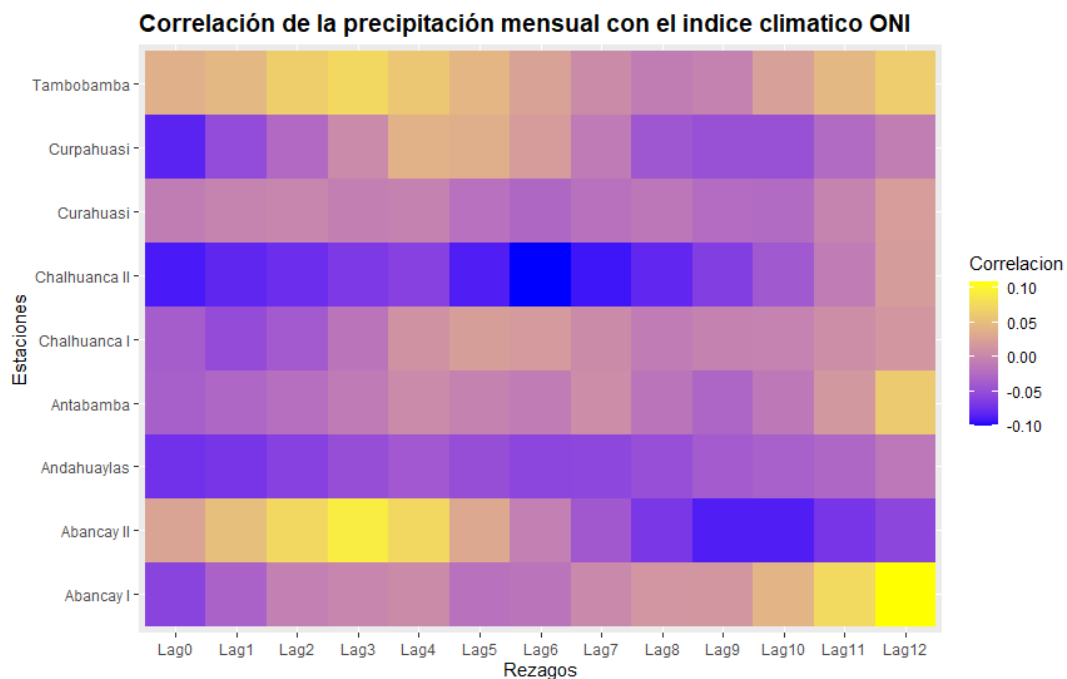


Figura 69. Correlación de Pearson según ONI para las estaciones consideradas.

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo también se realizó un análisis mensual la estación Abancay I con los grupos ENOS del índice ONI observándose que las tendencias son muy variables de mes a mes lo que indica que no se tiene una tendencia fija y que puede cambiar de mes a mes tal como mostramos en la Figura 70, el análisis se realizó por cada mes y grupo ENOS donde se muestra la correlación de Pearson de la precipitación con el índice ONI para la estación Abancay I para el periodo 1964-1993.

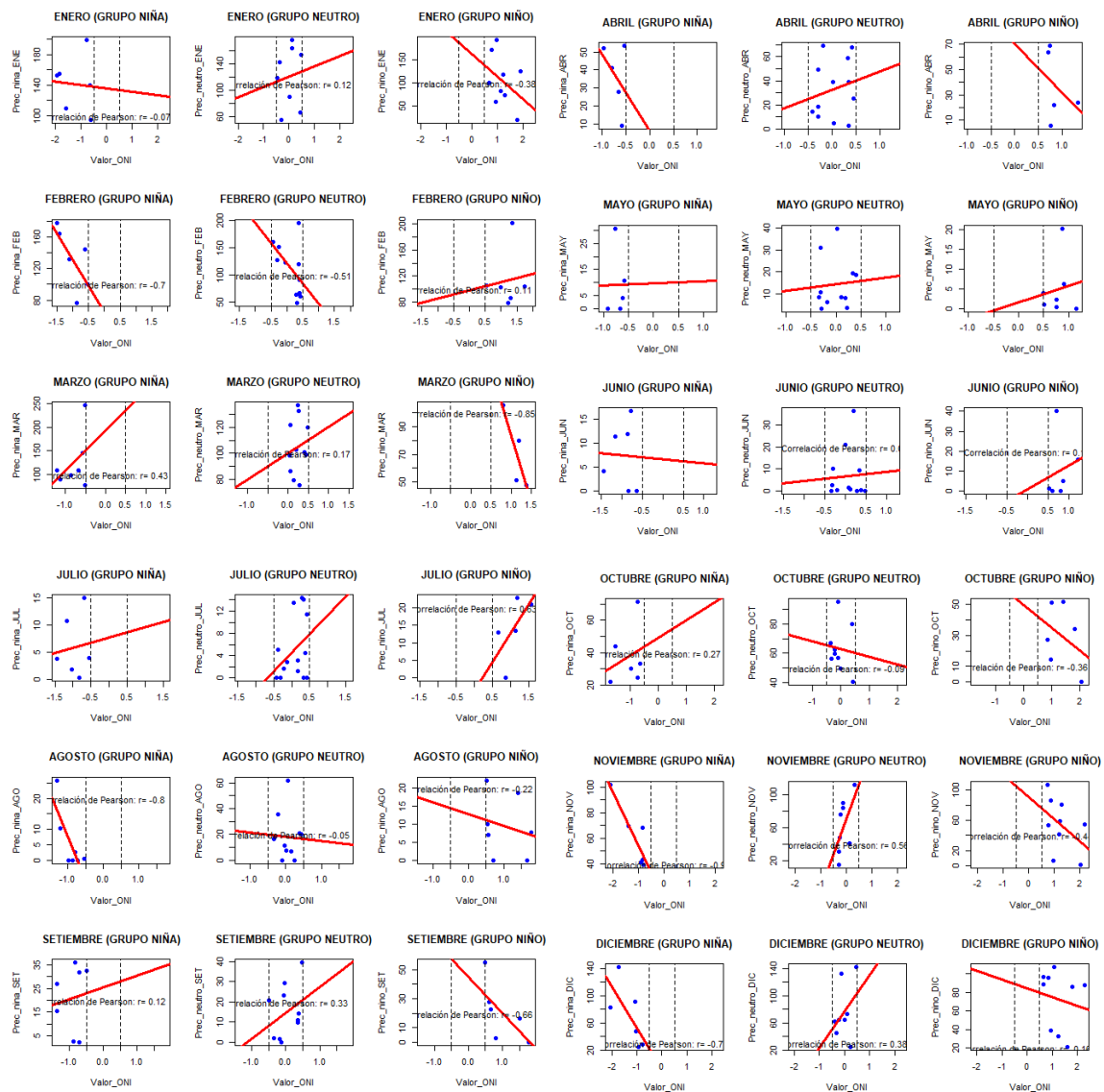


Figura 70. Correlación de Pearson según ONI (Abancay I).

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un análisis mensual la estación Abancay II con los grupos ENOS del índice ONI observándose que las tendencias son muy variables de mes a mes lo que indica que no se tiene una tendencia fija y que puede cambiar de mes a mes tal como mostramos en la Figura 71, el análisis se realizó por cada mes y grupo ENOS donde se muestra la correlación de Pearson de la precipitación con el índice ONI para la estación Abancay II para el periodo 1996-2020.

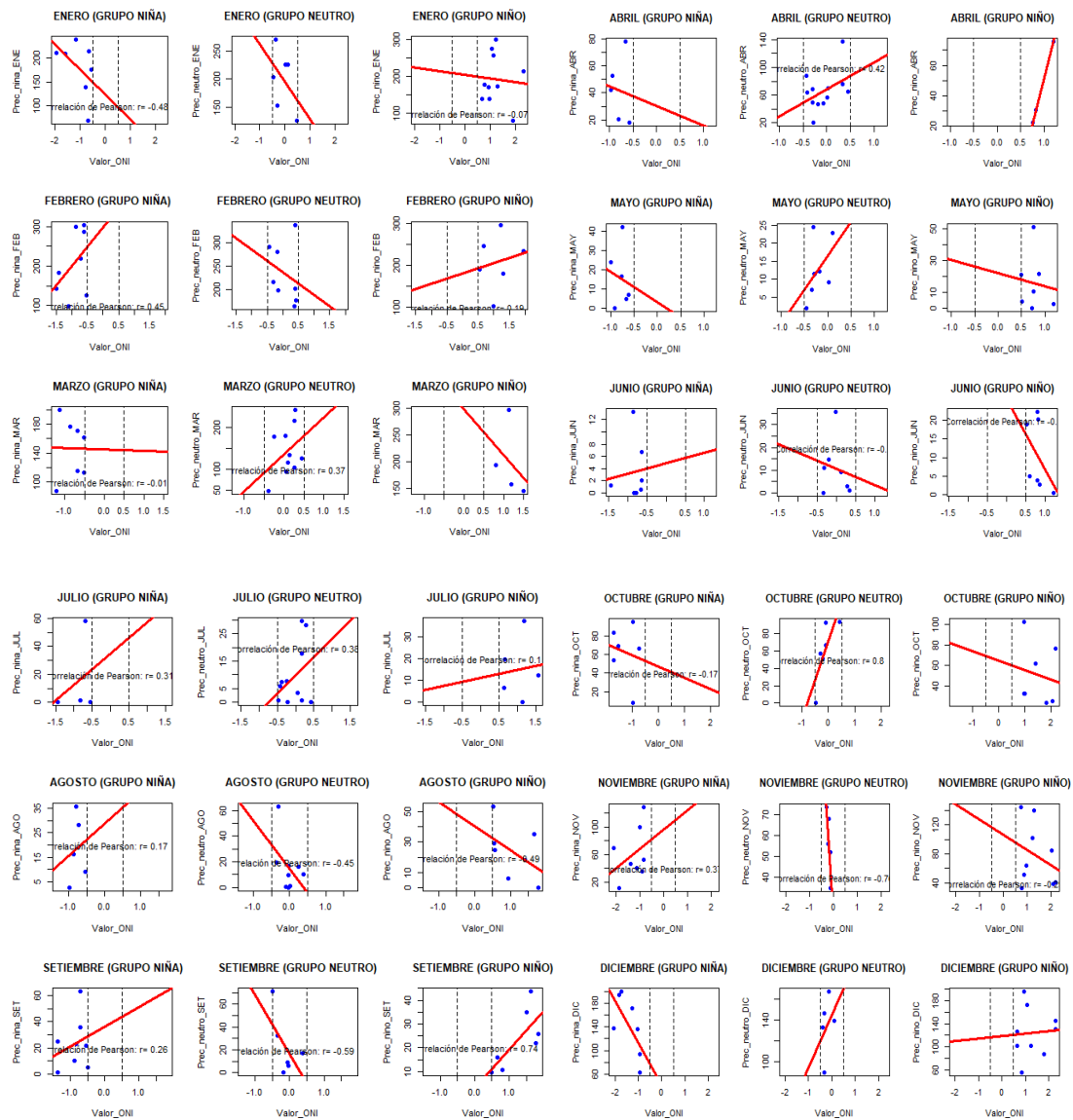


Figura 71. Correlación de Pearson según ONI (Abancay II).

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un análisis mensual la estación Andahuaylas con los grupos ENOS del índice ONI observándose que las tendencias son muy variables de mes a mes lo que indica que no se tiene una tendencia fija y que puede cambiar de mes a mes tal como mostramos en la Figura 72, el análisis se realizó por cada mes y grupo ENOS donde se muestra la correlación de Pearson de la precipitación con el índice ONI para la estación Andahuaylas para el periodo 1964-2020.

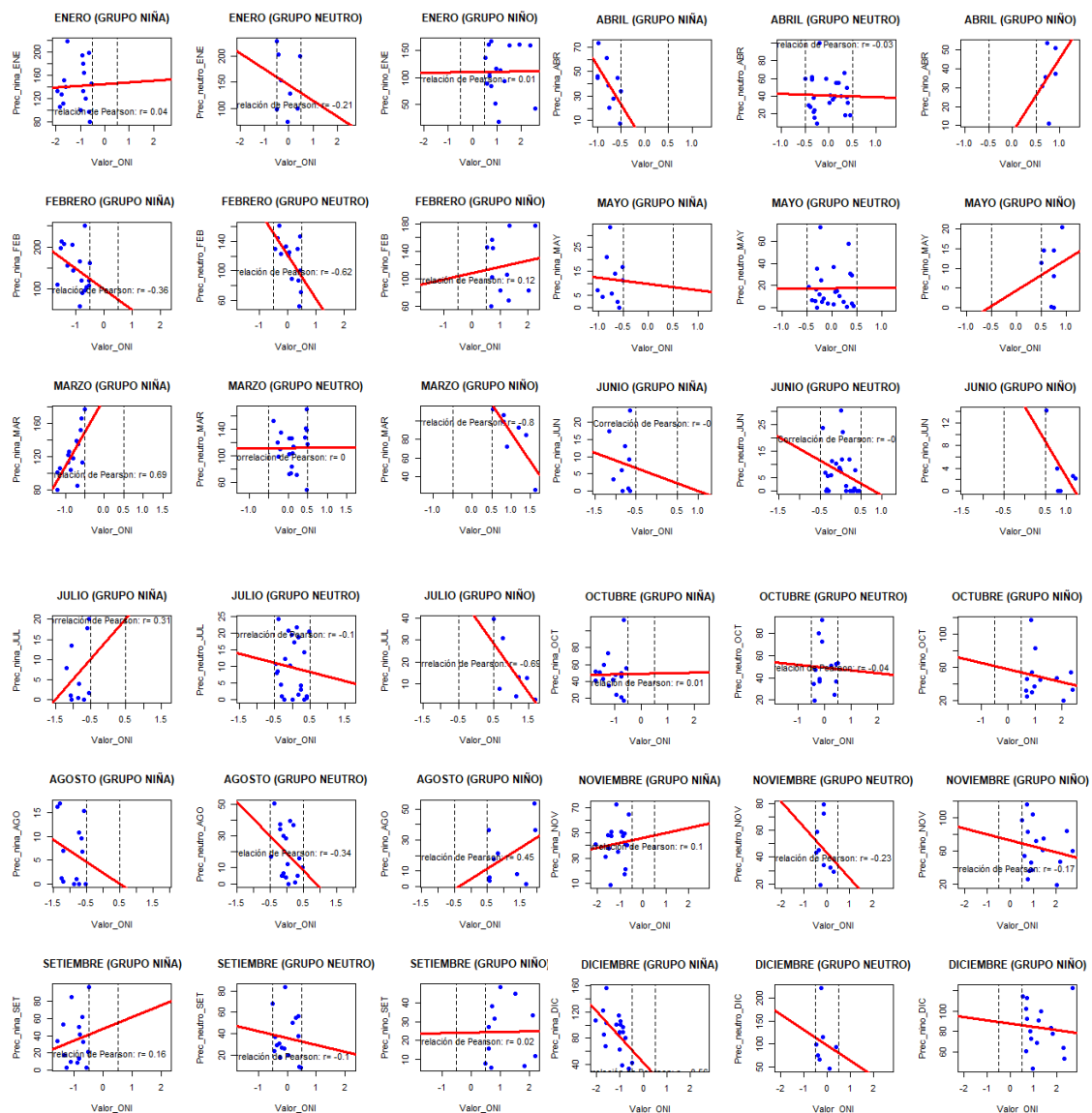


Figura 72. Correlación de Pearson según ONI (Andahuaylas).

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un análisis mensual la estación Antabamba con los grupos ENOS del índice ONI observándose que las tendencias son muy variables de mes a mes lo que indica que no se tiene una tendencia fija y que puede cambiar de mes a mes tal como mostramos en la figura 73, el análisis se realizó por cada mes y grupo ENOS donde se muestra la correlación de Pearson de la precipitación con el índice ONI para la estación Antabamba para el periodo 1964-1975.

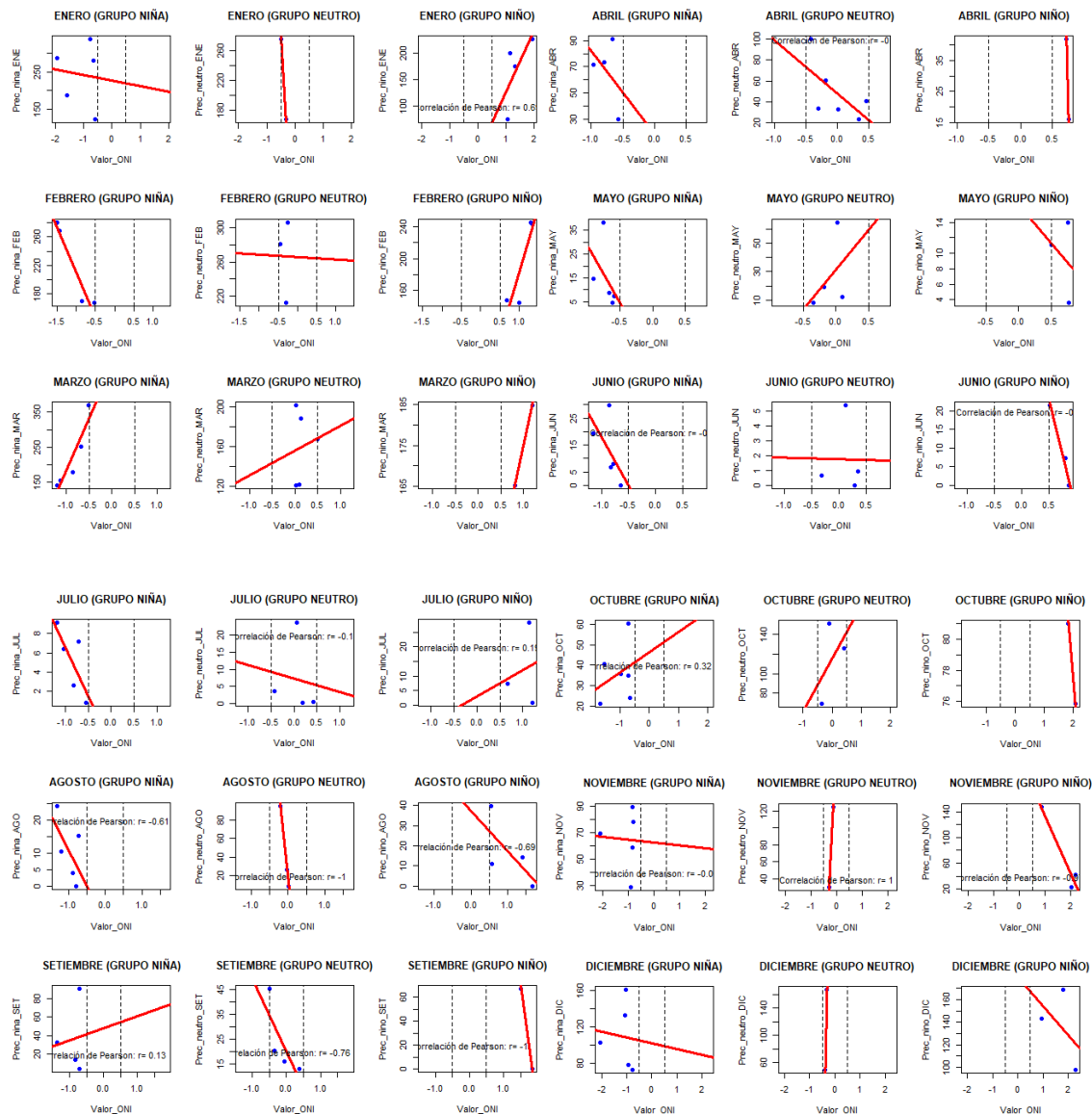


Figura 73. Correlación de Pearson según ONI (Antabamba).

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un análisis mensual la estación Chalhuanca I con los grupos ENOS del índice ONI observándose que las tendencias son muy variables de mes a mes lo que indica que no se tiene una tendencia fija y que puede cambiar de mes a mes tal como mostramos en la figura 74, el análisis se realizó por cada mes y grupo ENOS donde se muestra la correlación de Pearson de la precipitación con el índice ONI para la estación Chalhuanca I para el periodo 2000-2013.

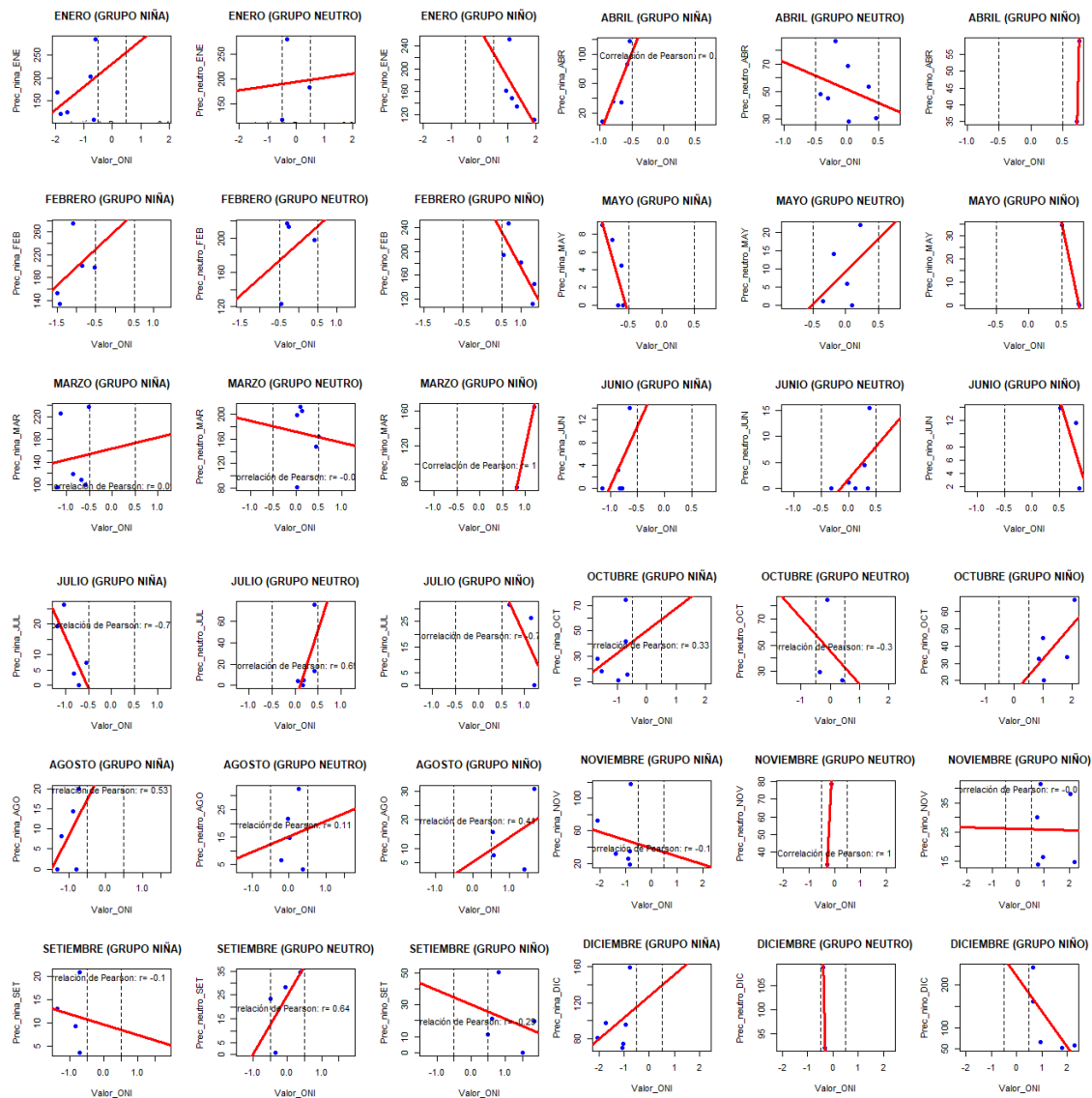


Figura 74. Correlación de Pearson según ONI (Chalhuanca I).

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un análisis mensual la estación Chalhuanca II con los grupos ENOS del índice ONI observándose que las tendencias son muy variables de mes a mes lo que indica que no se tiene una tendencia fija y que puede cambiar de mes a mes tal como mostramos en la Figura 75, el análisis se realizó por cada mes y grupo ENOS donde se muestra la correlación de Pearson de la precipitación con el índice ONI para la estación Chalhuanca II para el periodo 1964-2020.

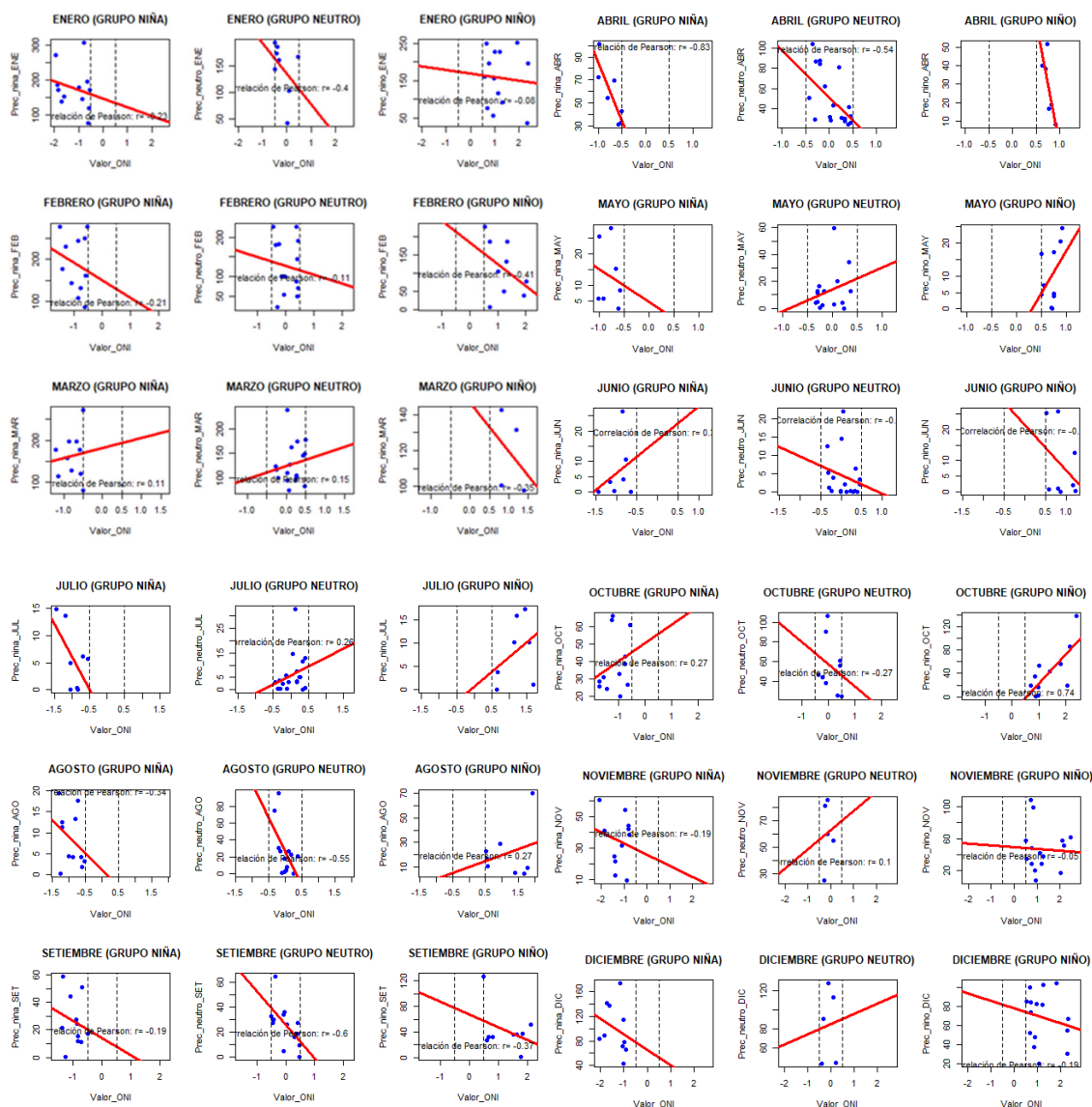


Figura 75. Correlación de Pearson según ONI (Chalhuanca II).

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un análisis mensual la estación Curahuasi con los grupos ENOS del índice ONI observándose que las tendencias son muy variables de mes a mes lo que indica que no se tiene una tendencia fija y que puede cambiar de mes a mes tal como mostramos en la Figura 76, el análisis se realizó por cada mes y grupo ENOS donde se muestra la correlación de Pearson de la precipitación con el índice ONI para la estación Curahuasi para el periodo 1964-2020.

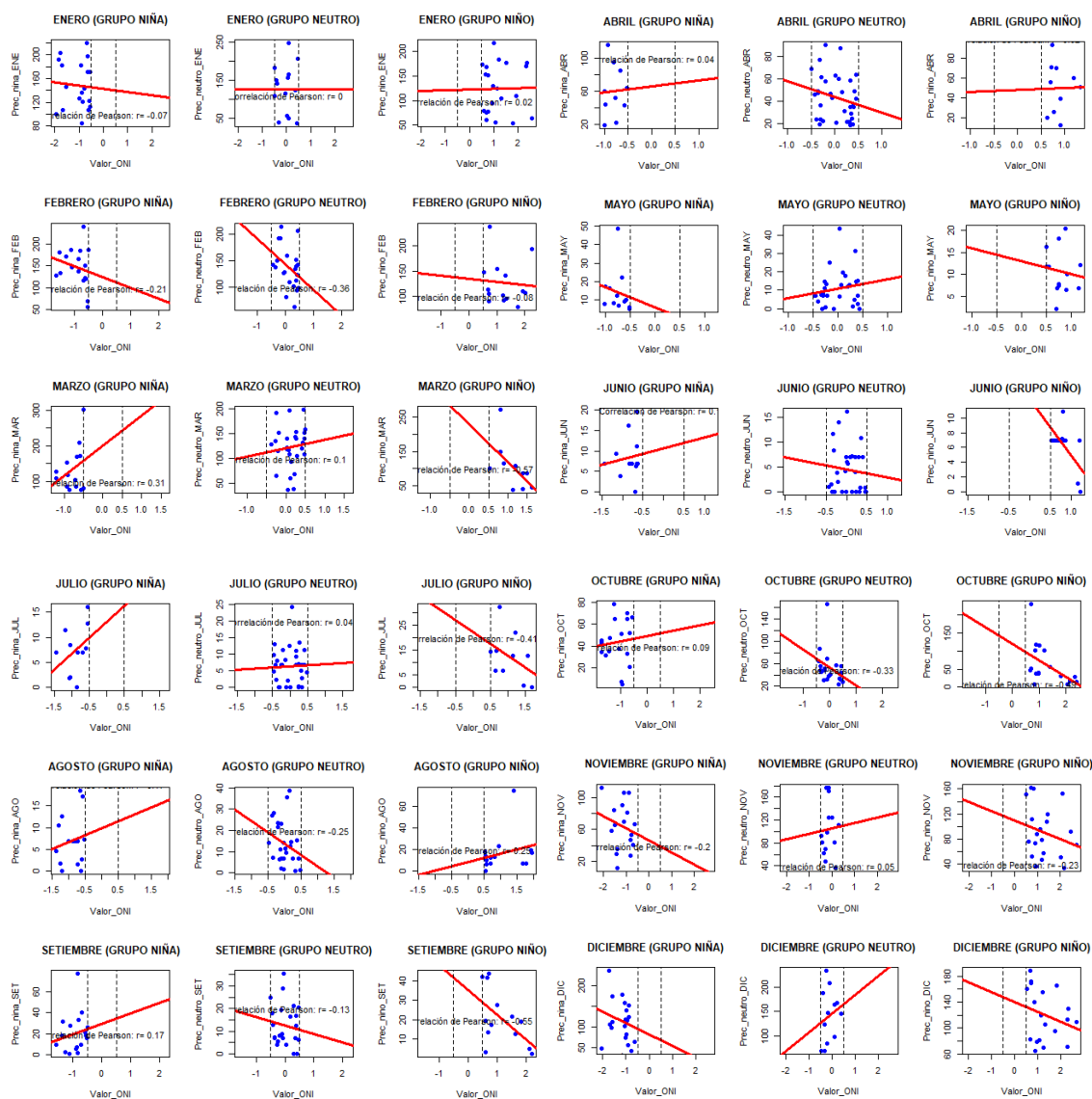


Figura 76. Correlación de Pearson según ONI (Curahuasi).

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un análisis mensual la estación Curpahuasi con los grupos ENOS del índice ONI observándose que las tendencias son muy variables de mes a mes lo que indica que no se tiene una tendencia fija y que puede cambiar de mes a mes tal como mostramos en la Figura 77, el análisis se realizó por cada mes y grupo ENOS donde se muestra la correlación de Pearson de la precipitación con el índice ONI para la estación Curpahuasi para el periodo 2009-2020.

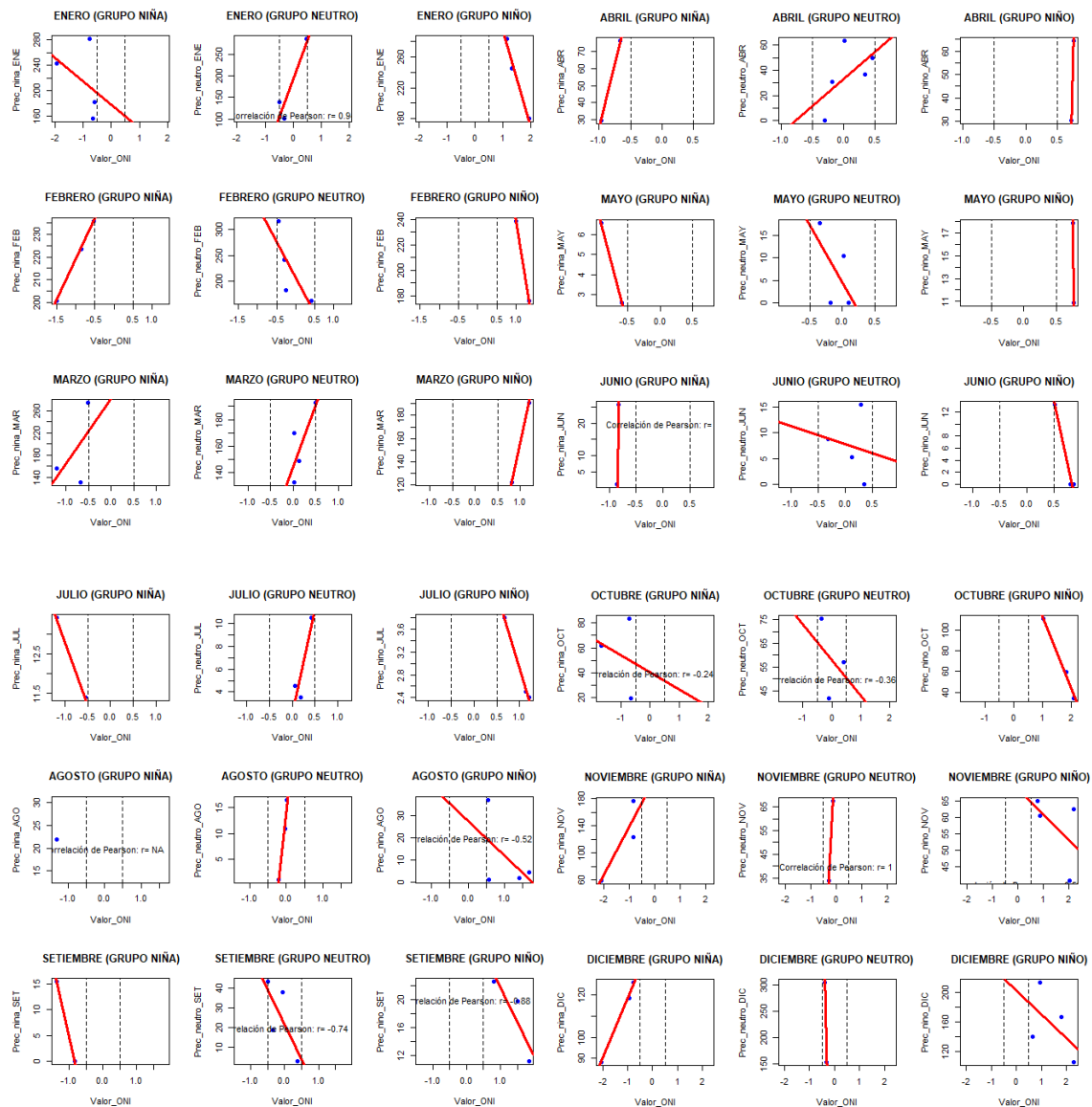


Figura 77. Correlación de Pearson según ONI (Curpahuasi).

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un análisis mensual la estación Tambobamba con los grupos ENOS del índice ONI observándose que las tendencias son muy variables de mes a mes lo que indica que no se tiene una tendencia fija y que puede cambiar de mes a mes tal como mostramos en la figura 78, el análisis se realizó por cada mes y grupo ENOS donde se muestra la correlación de Pearson de la precipitación con el índice ONI para la estación Tambobamba para el periodo 1995-2020.

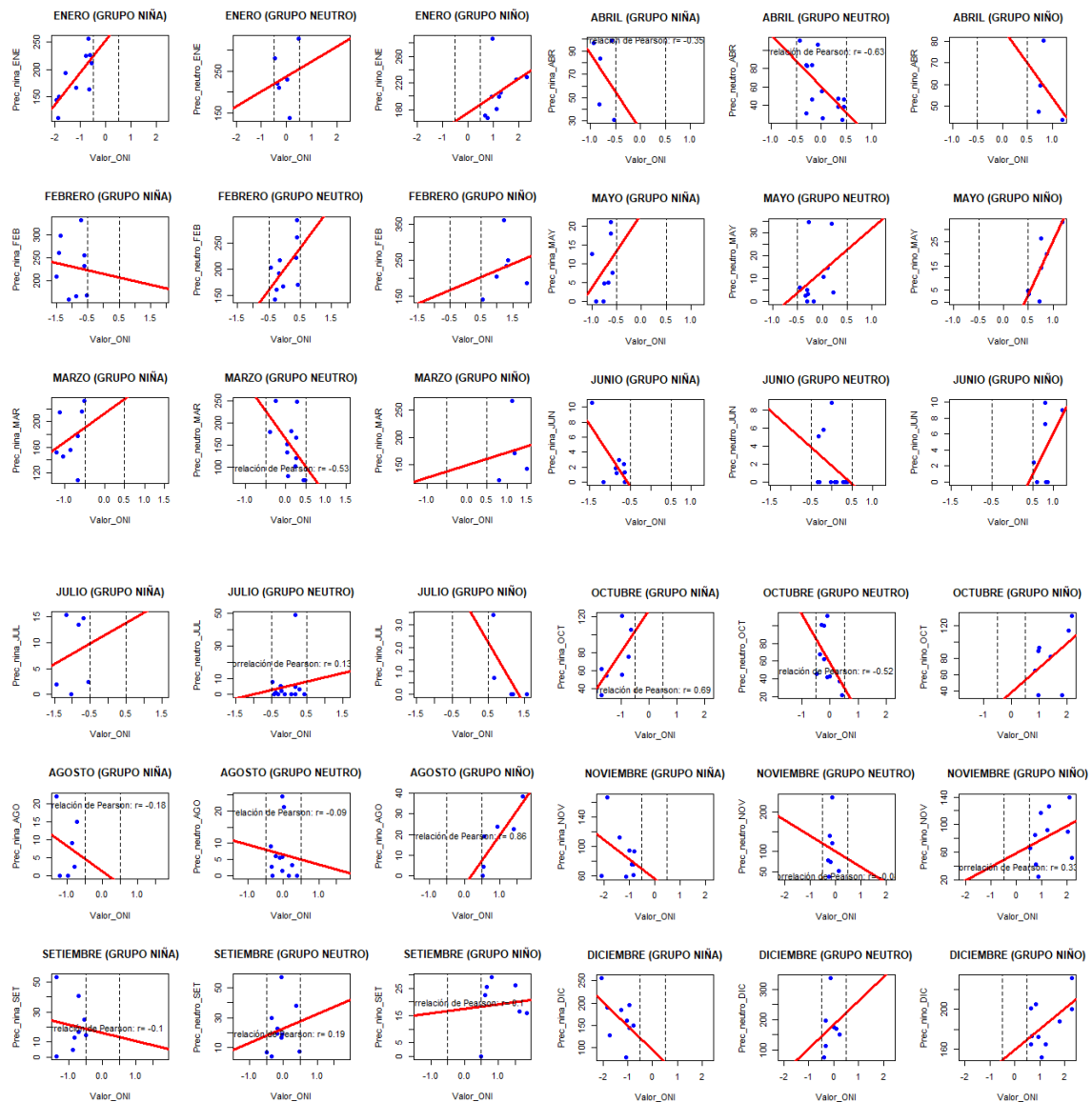


Figura 78. Correlación de Pearson según ONI (Tambobamba).

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Relación entre el Índice Costero El Niño (ICEN) y la precipitación para cada estación a escala multianual.

De igual modo se correlacionó información de lluvia a escala multianual para los períodos disponibles en cada estación con modelos de regresión lineal simple para cada estación, estimando los coeficientes de correlación parcial, la correlación se realizó para un rezago (Lag 0) es decir sin rezago mensual debido a que el índice ICEN es el resultado de la variación del incremento de la temperatura superficial de tres meses consecutivas (media móvil) del cual se observa que la mayoría de las estaciones tienen una correlación negativa a excepción de la estación Abancay II y Tambobamba (ver Tabla 14)

Tabla 14. Coeficiente de correlación Pearson según ICEN

Estación	Correlación Pearson
Abancay I	-0.012600
Abancay II	0.000320
Andahuaylas	-0.008410
Antabamba	0.014690
Chalhuanca I	-0.054060
Chalhuanca II	-0.032690
Curahuasi	-0.018470
Curpahuasi	-0.077980
Tambobamba	0.056080

Fuente: Elaboración propia.

El análisis de correlación se realizó para cada estación para observar la variabilidad sin rezago (Lag 0) el cual se presenta en las Figuras 79 al 87, donde al realizar los gráficos respectivos presentamos dichos cuadros a continuación para mostrar la tendencia del análisis de correlación a nivel multianual.

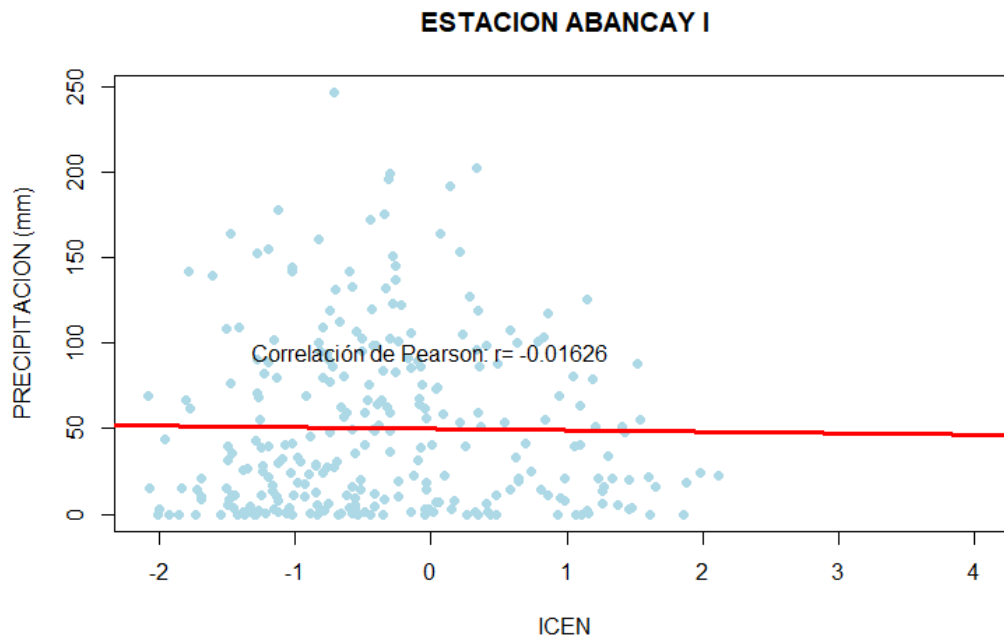


Figura 79. Correlación de Pearson según ICEN en la estación Abancay I.
Fuente: Elaboración propia.

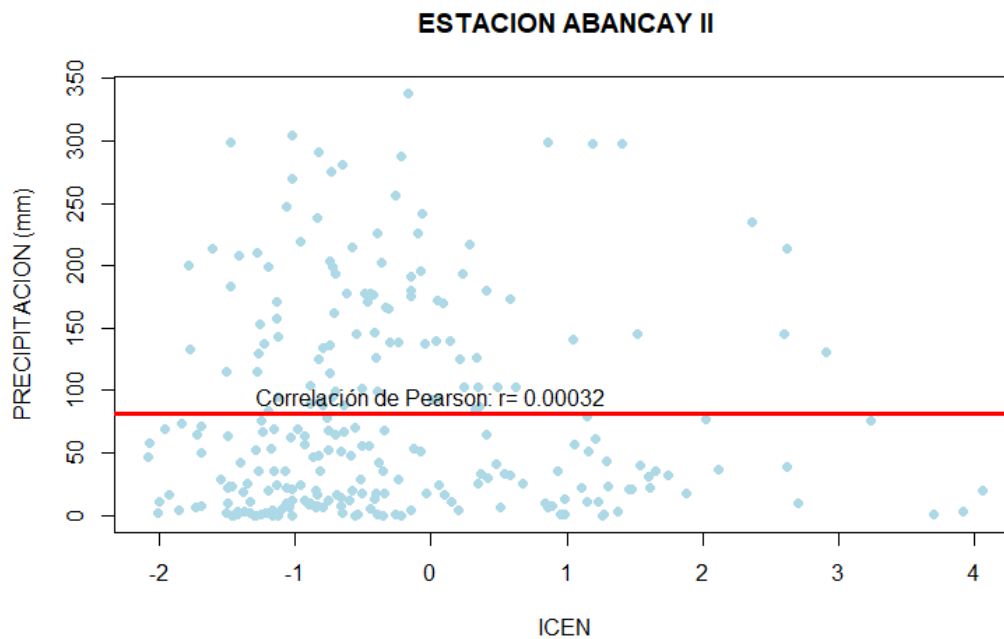


Figura 80. Correlación de Pearson según ICEN en la estación Abancay II.
Fuente: Elaboración propia.

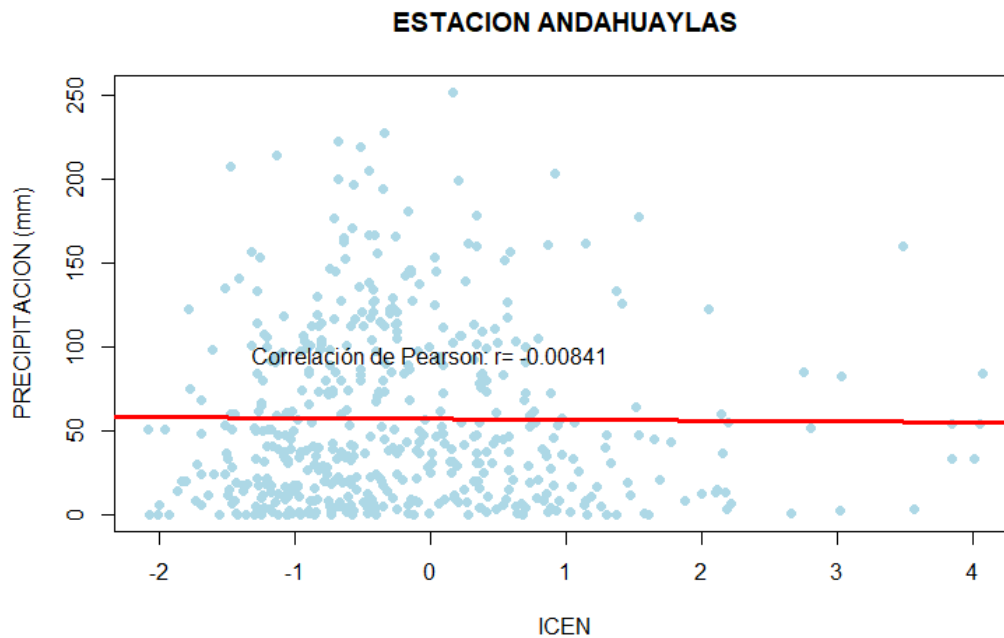


Figura 81. Correlación de Pearson según ICEN en la estación Andahuaylas.
Fuente: Elaboración propia.

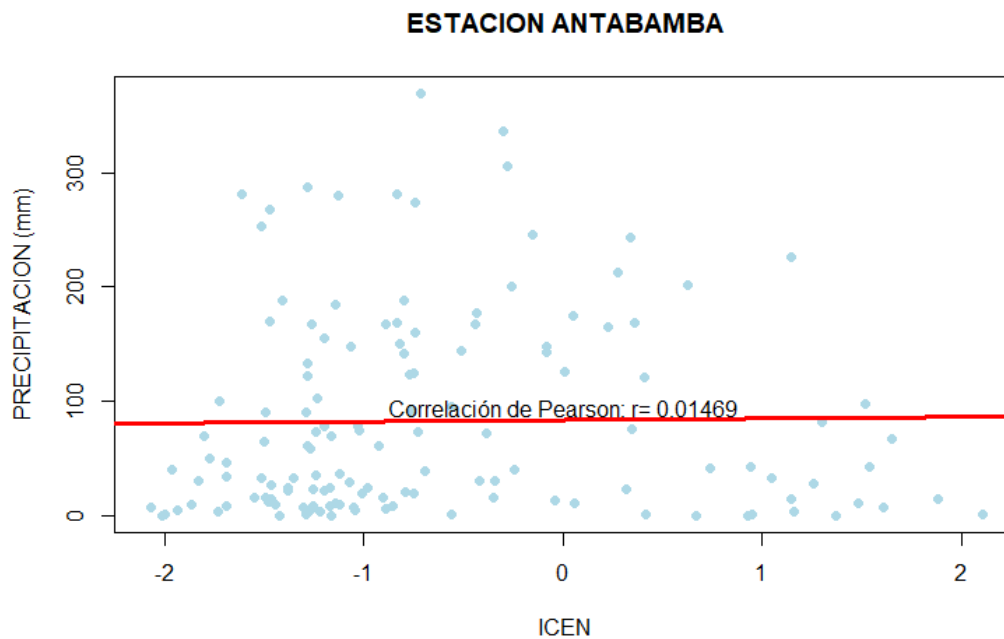


Figura 82. Correlación de Pearson según ICEN en la estación Antabamba.
Fuente: Elaboración propia.

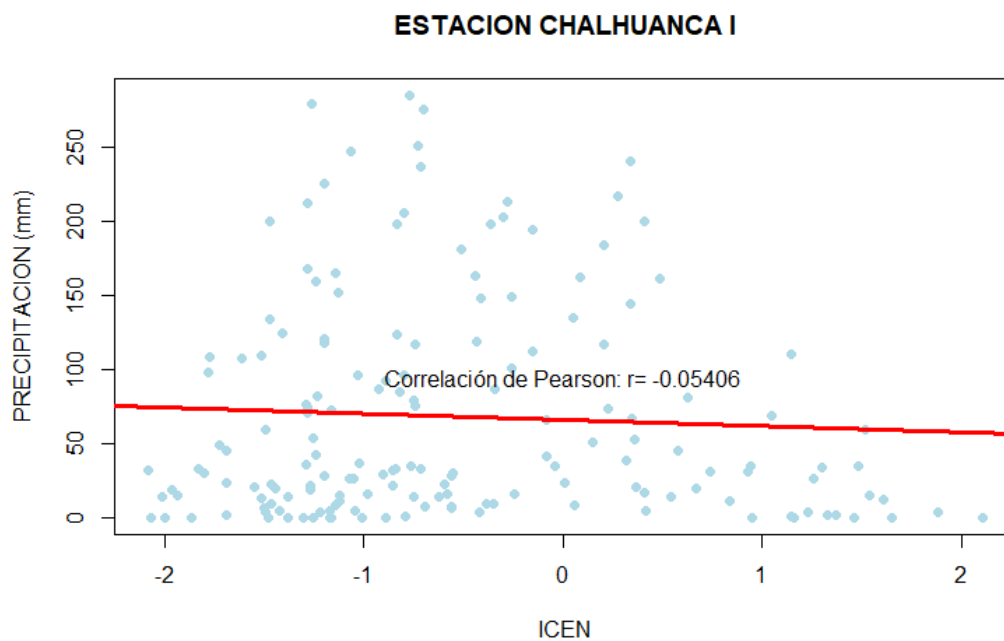


Figura 83. Correlación de Pearson según ICEN en la estación Chalhuanca I.

Fuente: Elaboración propia.

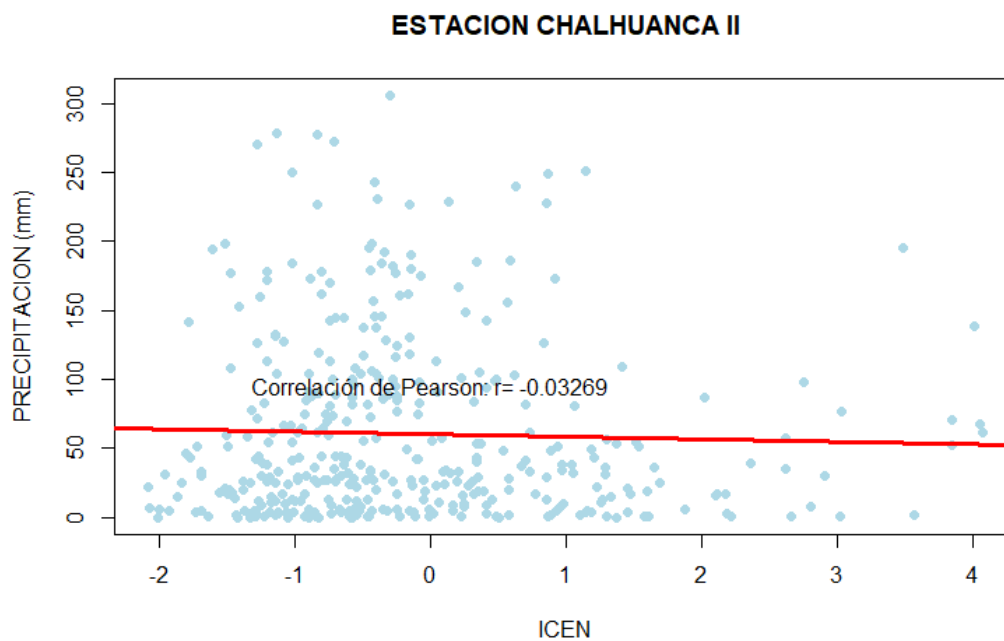


Figura 84. Correlación de Pearson según ICEN en la estación Chalhuanca II.

Fuente: Elaboración propia.

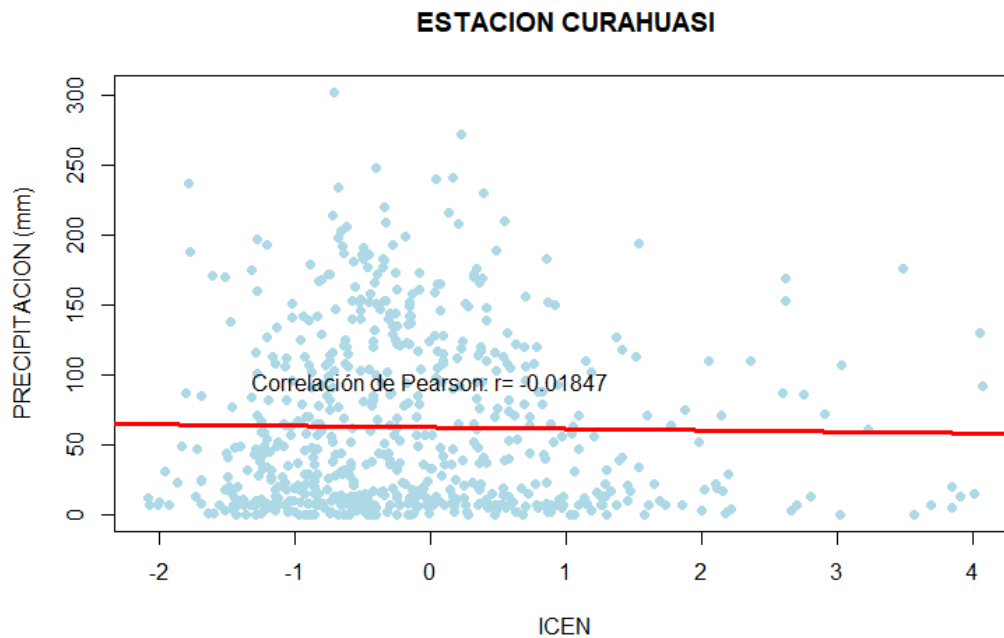


Figura 85. Correlación de Pearson según ICEN en la estación Curahuasi.
Fuente: Elaboración propia.

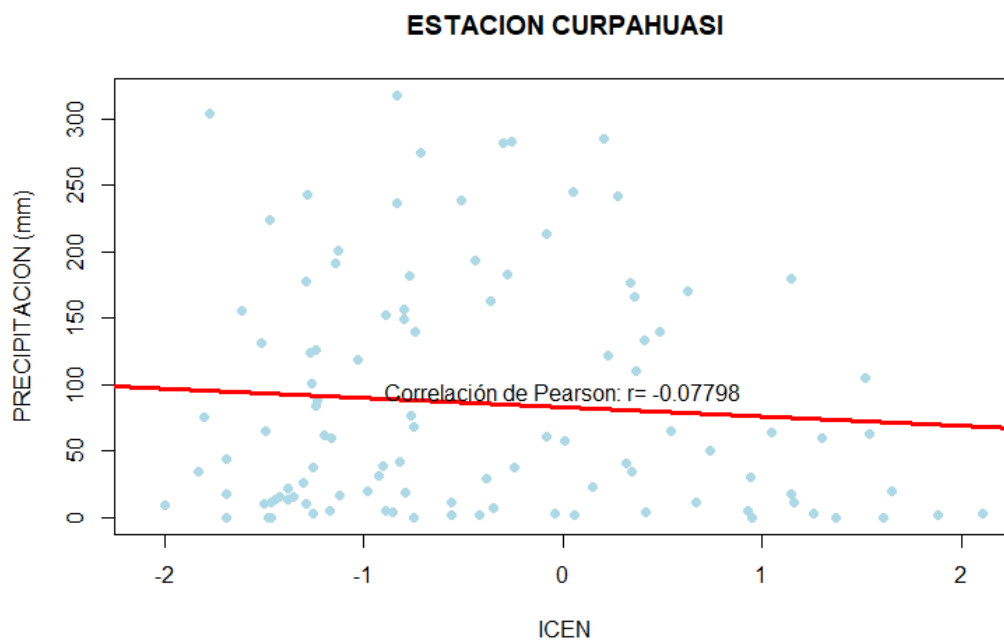


Figura 86. Correlación de Pearson según ICEN en la estación Curpahuasi.
Fuente: Elaboración propia.

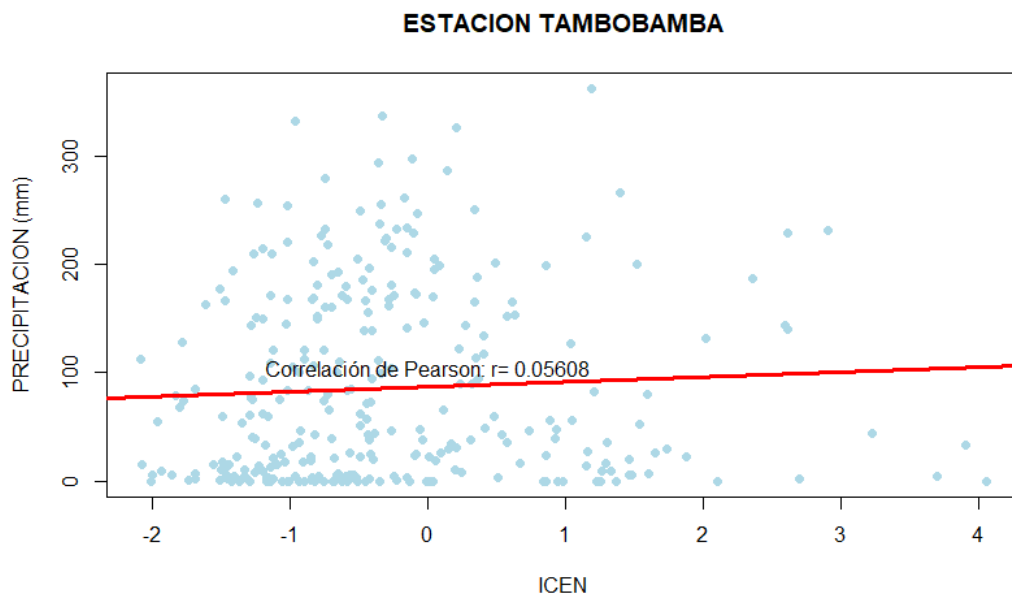


Figura 87. Correlación de Pearson según ICEN en la estación Tambobamba.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.4 Relación entre el Índice Oceánico de El Niño (ICEN) y la precipitación mensualizada para cada estación.

De igual manera se correlacionó información de lluvia mensual para los períodos disponibles en cada estación con modelos de regresión lineal simple para cada estación, estimando los coeficientes de correlación parcial, la correlación se realizó para diferentes periodos de rezago de hasta doce meses posteriores al incremento de la temperatura superficial del mes (Figura 88) del cual se observa que la mayoría de las estaciones tienen una correlación negativa a excepción de las estaciones Abancay II y Tambobamba. Cada correlación fue evaluado estadísticamente al nivel de significancia del 1% ó 5%, empleando el programa Rstudio.

En la Figura 88 se muestra la correlación de Pearson de la precipitación según índice ICEN en las estaciones consideradas para los periodos disponibles del departamento de Apurímac.

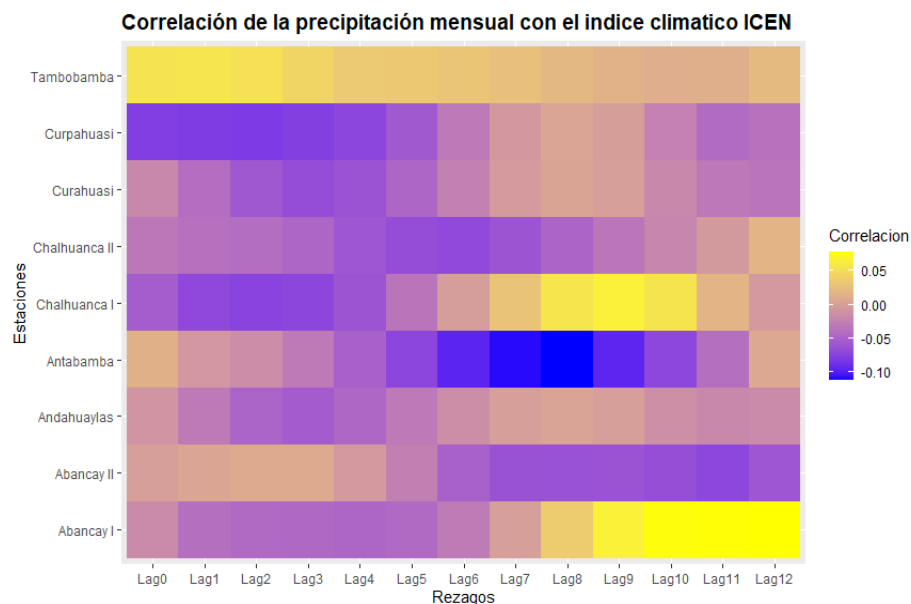


Figura 88. Correlación de Pearson según ICEN para las estaciones consideradas

Fuente: Elaboración propia.

También se realizó un análisis mensual la estación Abancay I con los grupos ENOS del índice ICEN observándose que las tendencias son muy variables de mes a mes lo que indica que no se tiene una tendencia fija y que puede cambiar de mes a mes tal como mostramos en la Figura 89, el análisis se realizó por cada mes y grupo ENOS, donde se muestra la correlación de Pearson de la precipitación con el índice ICEN para la estación Abancay para el periodo 1964-1993.

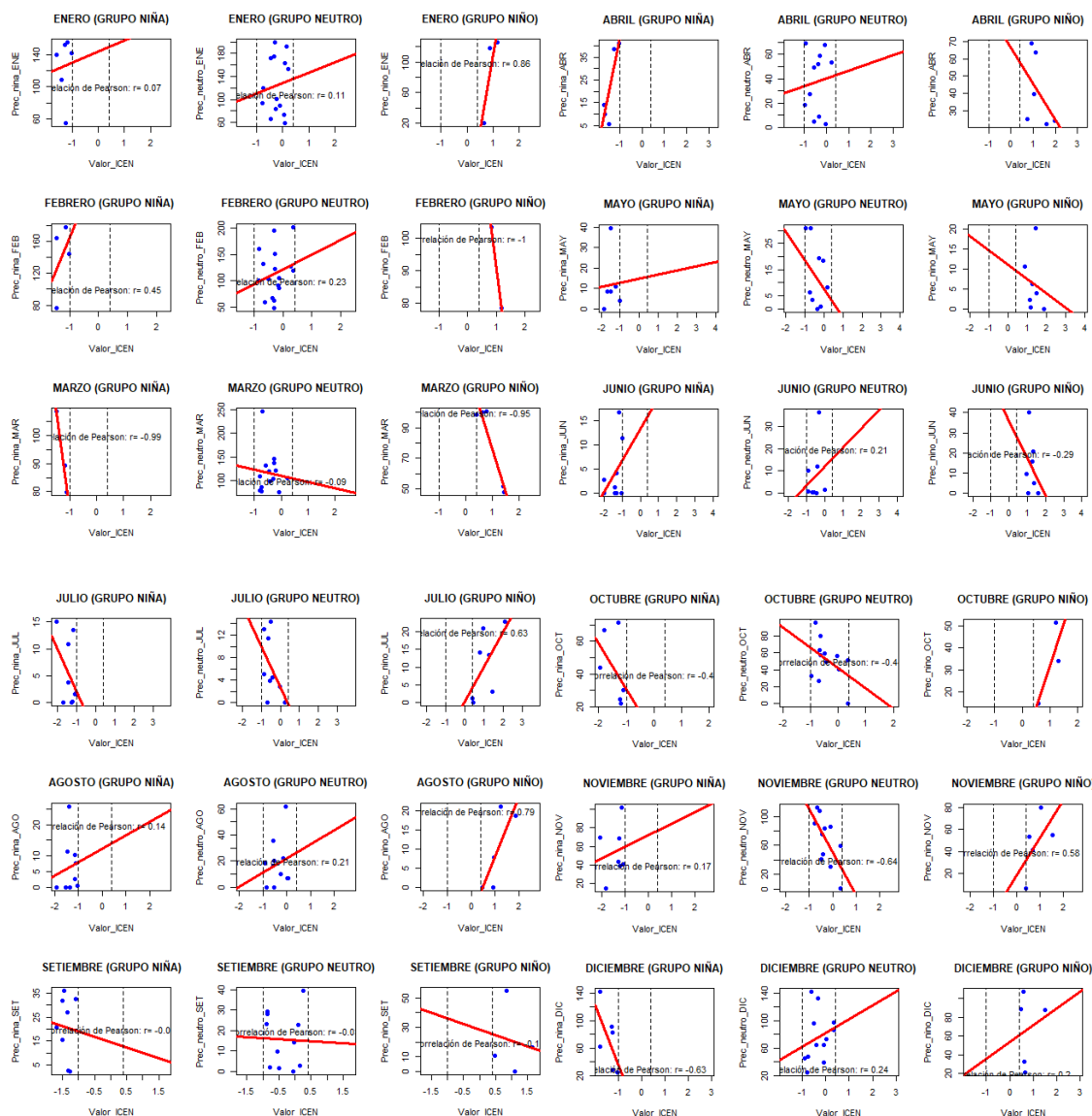


Figura 89. Correlación de Pearson según ICEN (Abancay I).

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un análisis mensual la estación Abancay II con los grupos ENOS del índice ICEN observándose que las tendencias son muy variables de mes a mes lo que indica que no se tiene una tendencia fija y que puede cambiar de mes a mes tal como mostramos en la Figura 90, el análisis se realizó por cada mes y grupo ENOS, donde se muestra la correlación de Pearson de la precipitación con el índice ICEN para la estación Abancay II para el periodo 1996-2020.

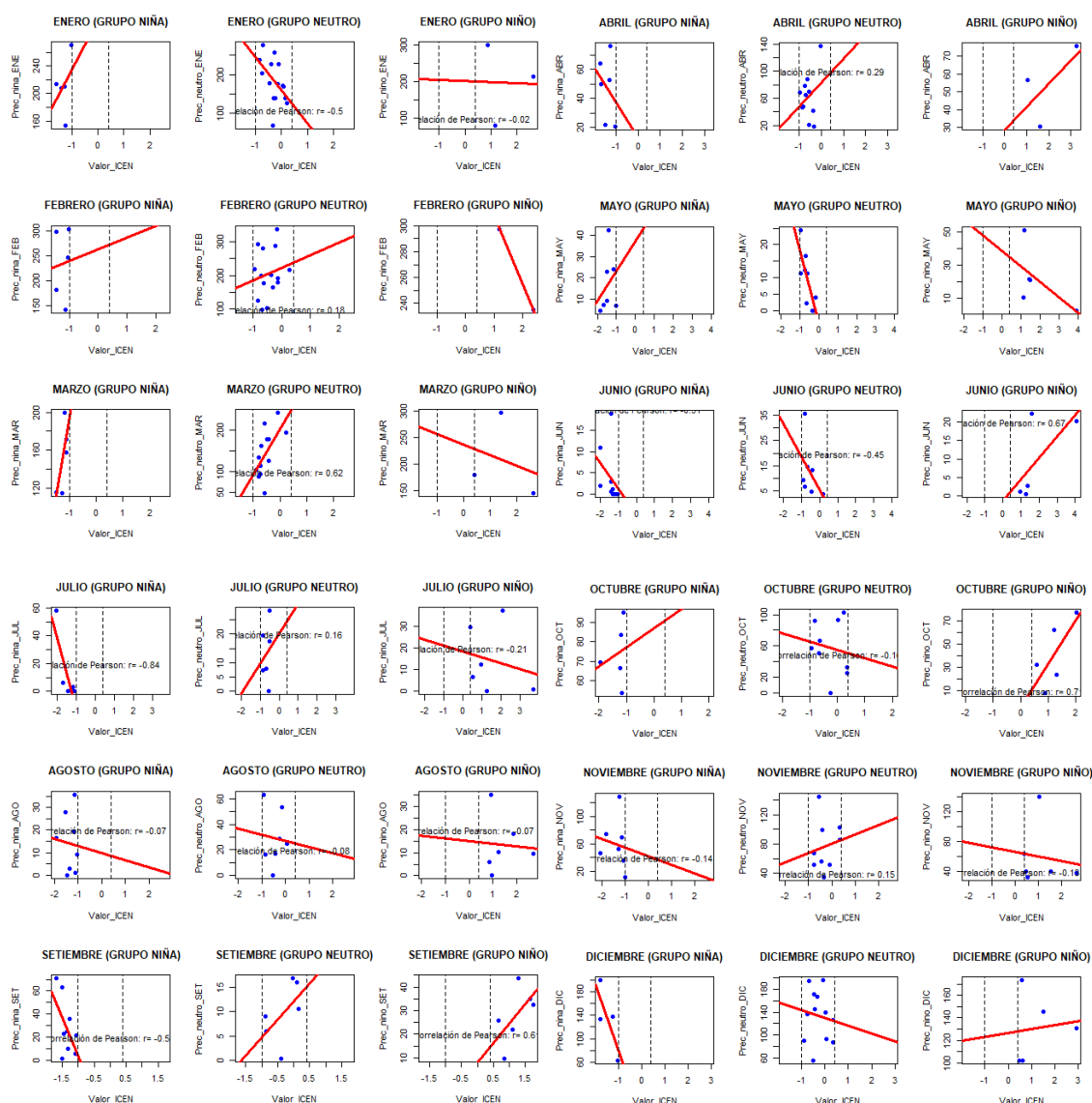


Figura 90. Correlación de Pearson según ICEN (Abancay II).

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un análisis mensual la estación Andahuaylas con los grupos ENOS del índice ICEN observándose que las tendencias son muy variables de mes a mes lo que indica que no se tiene una tendencia fija y que puede cambiar de mes a mes tal como mostramos en la Figura 91, el análisis se realizó por cada mes y grupo ENOS, donde se muestra la correlación de Pearson de la precipitación con el índice ICEN para la estación Andahuaylas para el periodo 1964-2020.

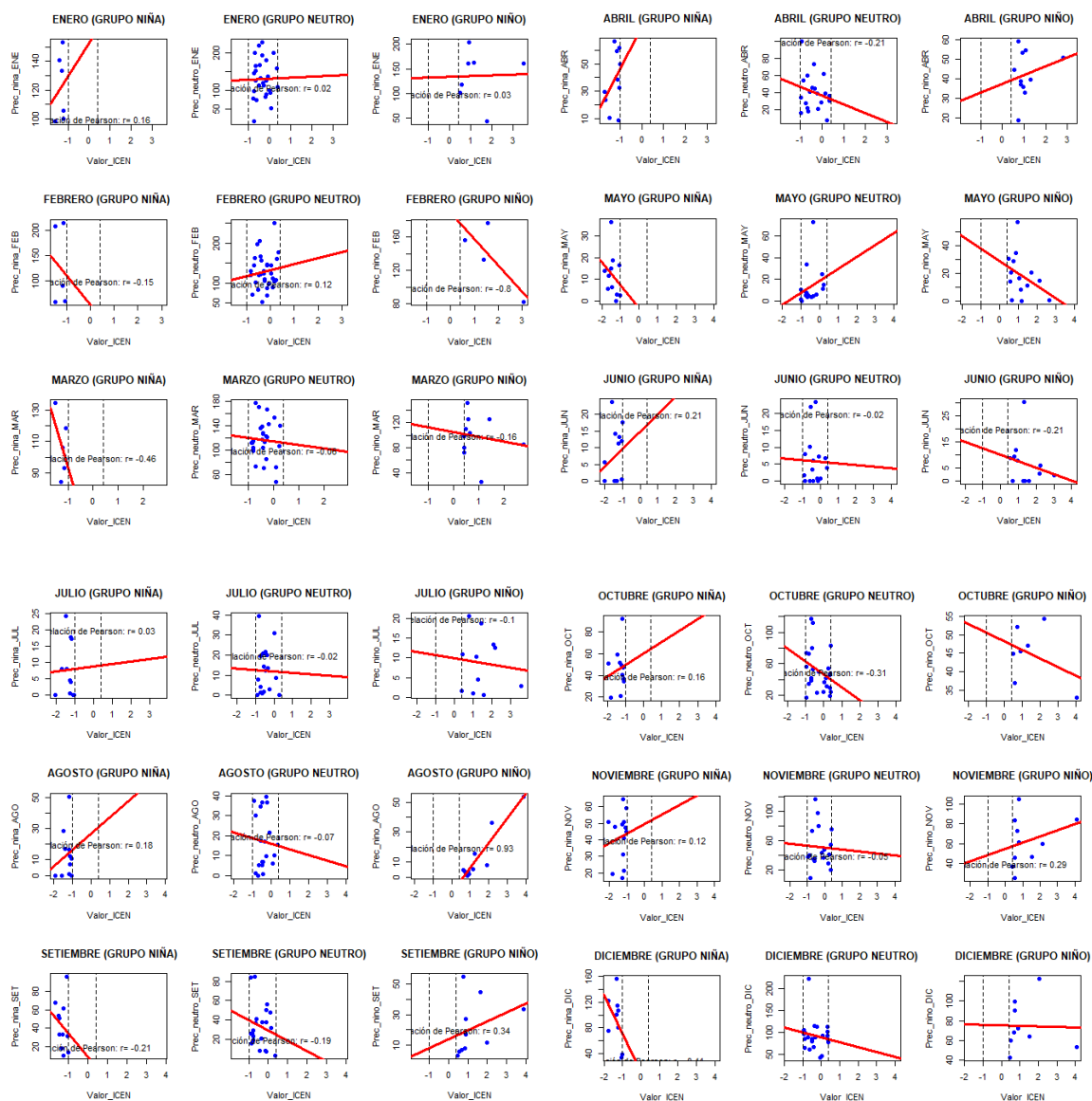


Figura 91. Correlación de Pearson según ICEN (Andahuaylas).

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un análisis mensual la estación Antabamba con los grupos ENOS del índice ICEN observándose que las tendencias son muy variables de mes a mes lo que indica que no se tiene una tendencia fija y que puede cambiar de mes a mes tal como mostramos en la Figura 92, el análisis se realizó por cada mes y grupo ENOS, donde se muestra la correlación de Pearson de la precipitación con el índice ICEN para la estación Antabamba para el periodo 1964-1975.

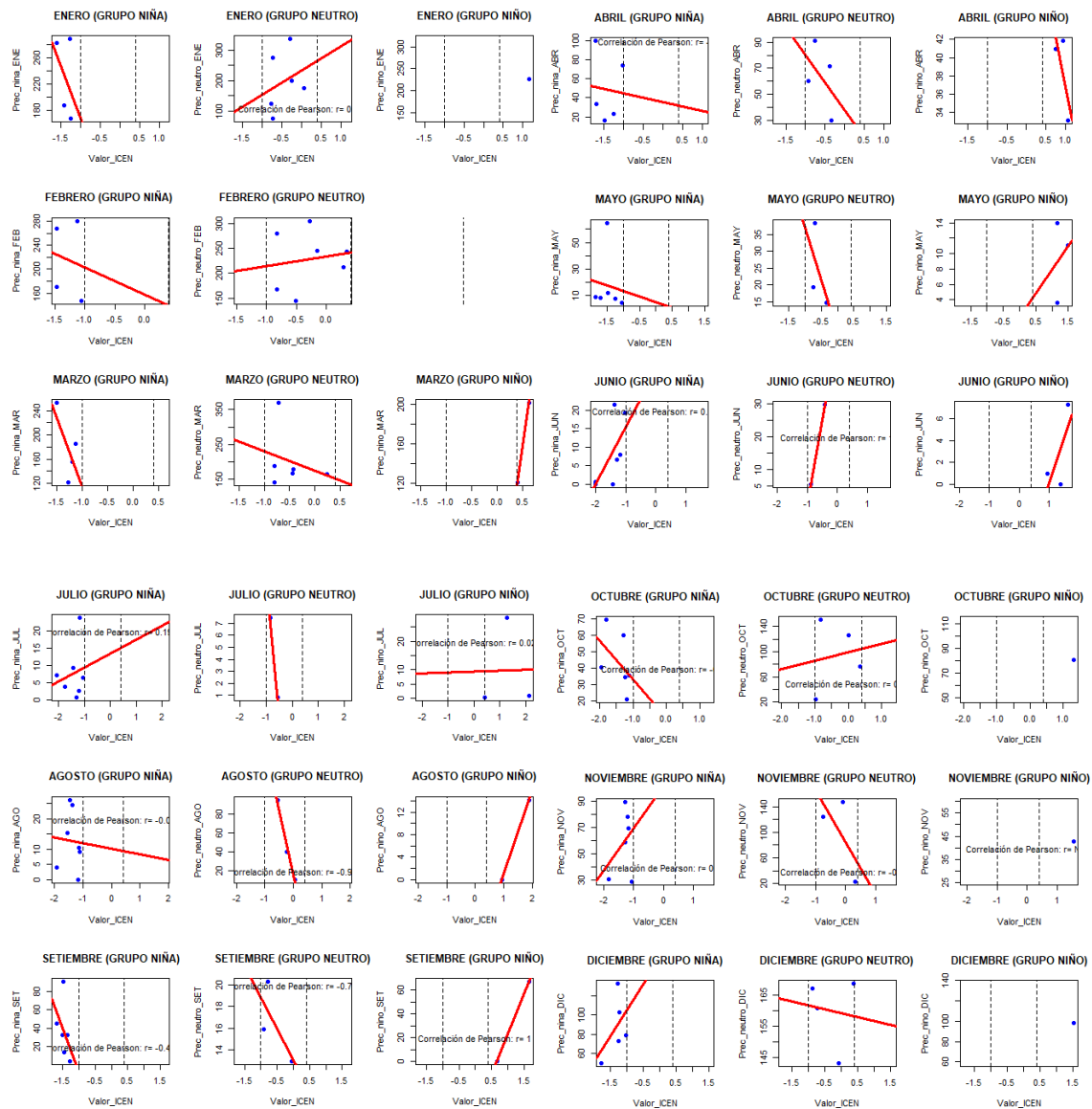


Figura 92. Correlación de Pearson según ICEN (Antabamba).

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un análisis mensual la estación Chalhuanca I con los grupos ENOS del índice ICEN observándose que las tendencias son muy variables de mes a mes lo que indica que no se tiene una tendencia fija y que puede cambiar de mes a mes tal como mostramos en la Figura 93, el análisis se realizó por cada mes y grupo ENOS, donde se muestra la correlación de Pearson de la precipitación con el índice ICEN para la estación Chalhuanca I para el periodo 2000-2013.

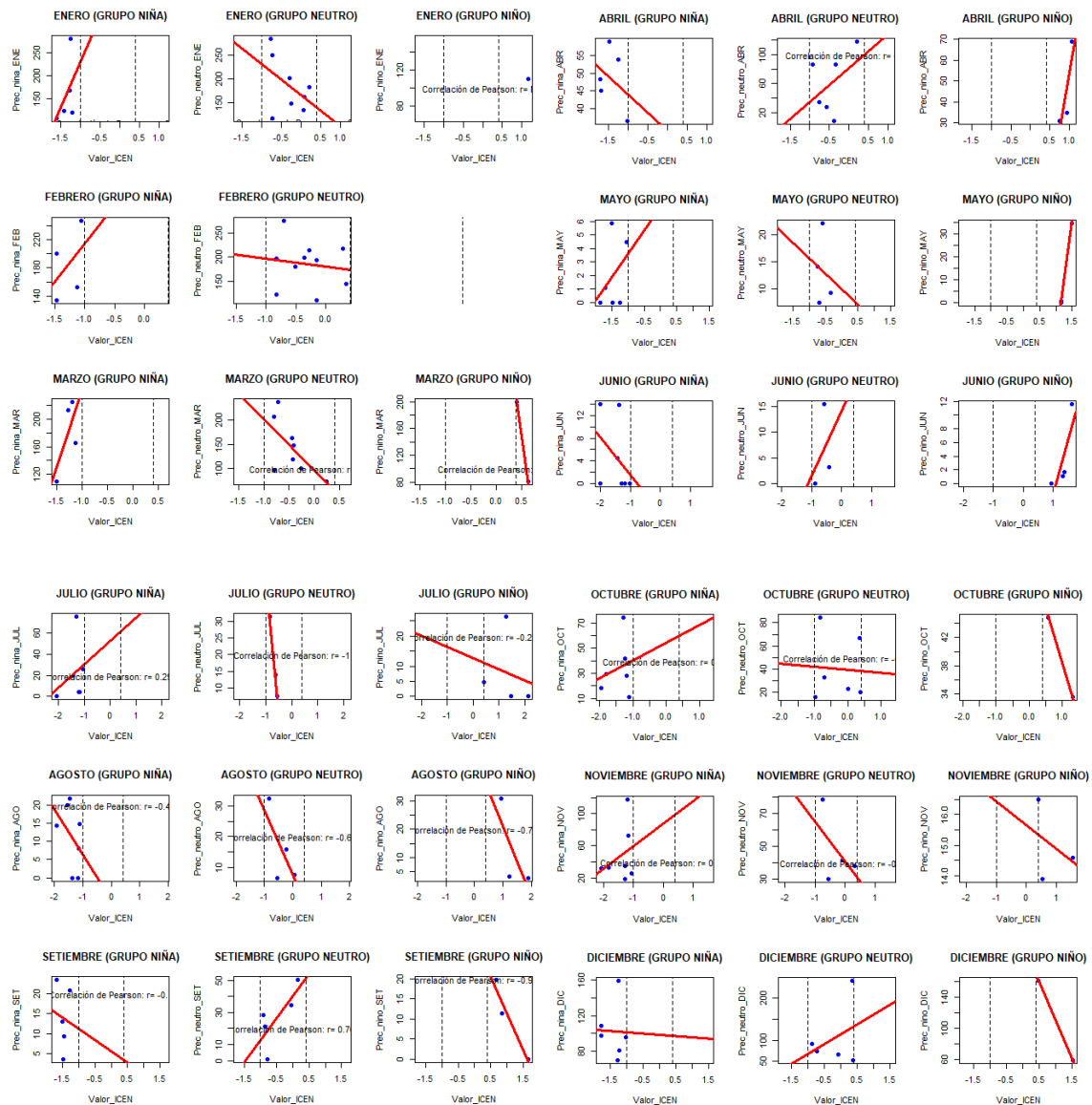


Figura 93. Correlación de Pearson según ICEN (Chalhuanca I)

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un análisis mensual la estación Chalhuanca II con los grupos ENOS del índice ICEN observándose que las tendencias son muy variables de mes a mes lo que indica que no se tiene una tendencia fija y que puede cambiar de mes a mes tal como mostramos en la Figura 94, el análisis se realizó por cada mes y grupo ENOS, donde se muestra la correlación de Pearson de la precipitación con el índice ICEN para la estación Chalhuanca II para el periodo 1964-2020.

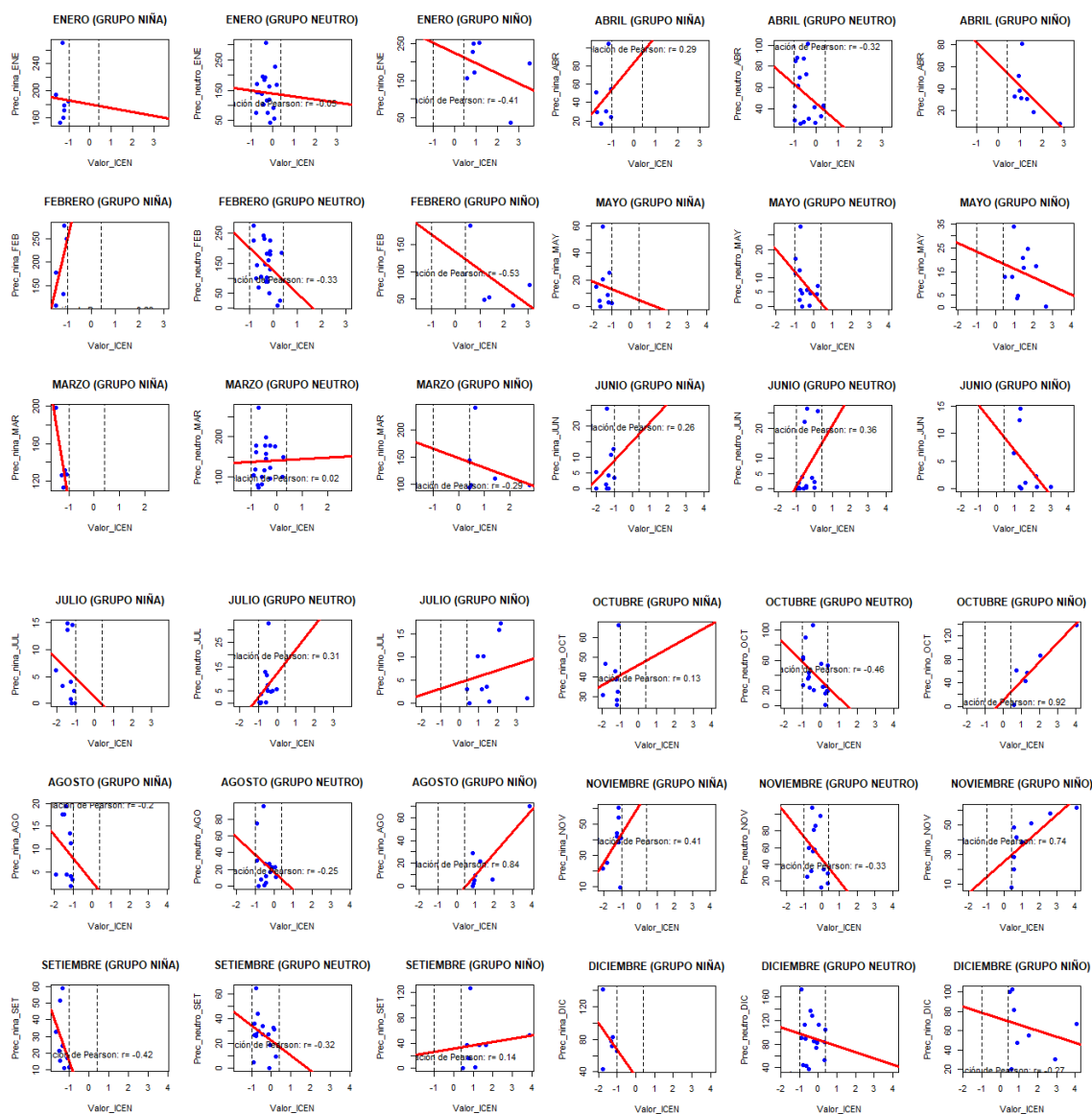


Figura 94. Correlación de Pearson según ICEN (Chalhuanca II).

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un análisis mensual la estación Curahuasi con los grupos ENOS del índice ICEN observándose que las tendencias son muy variables de mes a mes lo que indica que no se tiene una tendencia fija y que puede cambiar de mes a mes tal como mostramos en la Figura 95, el análisis se realizó por cada mes y grupo ENOS, donde se muestra la correlación de Pearson de la precipitación con el índice ICEN para la estación Curahuasi para el periodo 1964-2020.

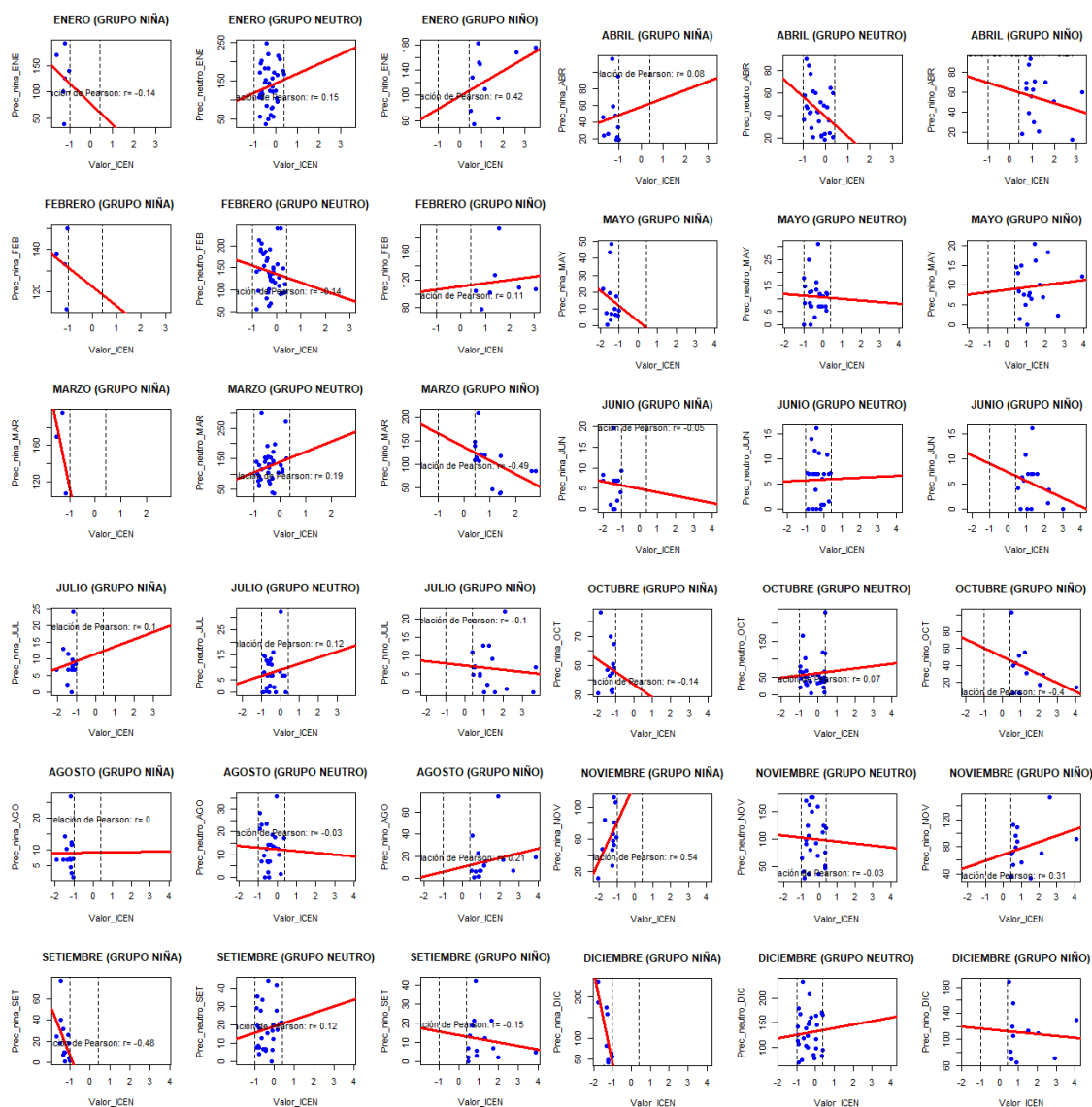


Figura 95. Correlación de Pearson según ICEN (Curahuasi).

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un análisis mensual la estación Curpahuasi con los grupos ENOS del índice ICEN observándose que las tendencias son muy variables de mes a mes lo que indica que no se tiene una tendencia fija y que puede cambiar de mes a mes tal como mostramos en la Figura 96, el análisis se realizó por cada mes y grupo ENOS, donde se muestra la correlación de Pearson de la precipitación con el índice ICEN para la estación Curpahuasi para el periodo 2009-2020.

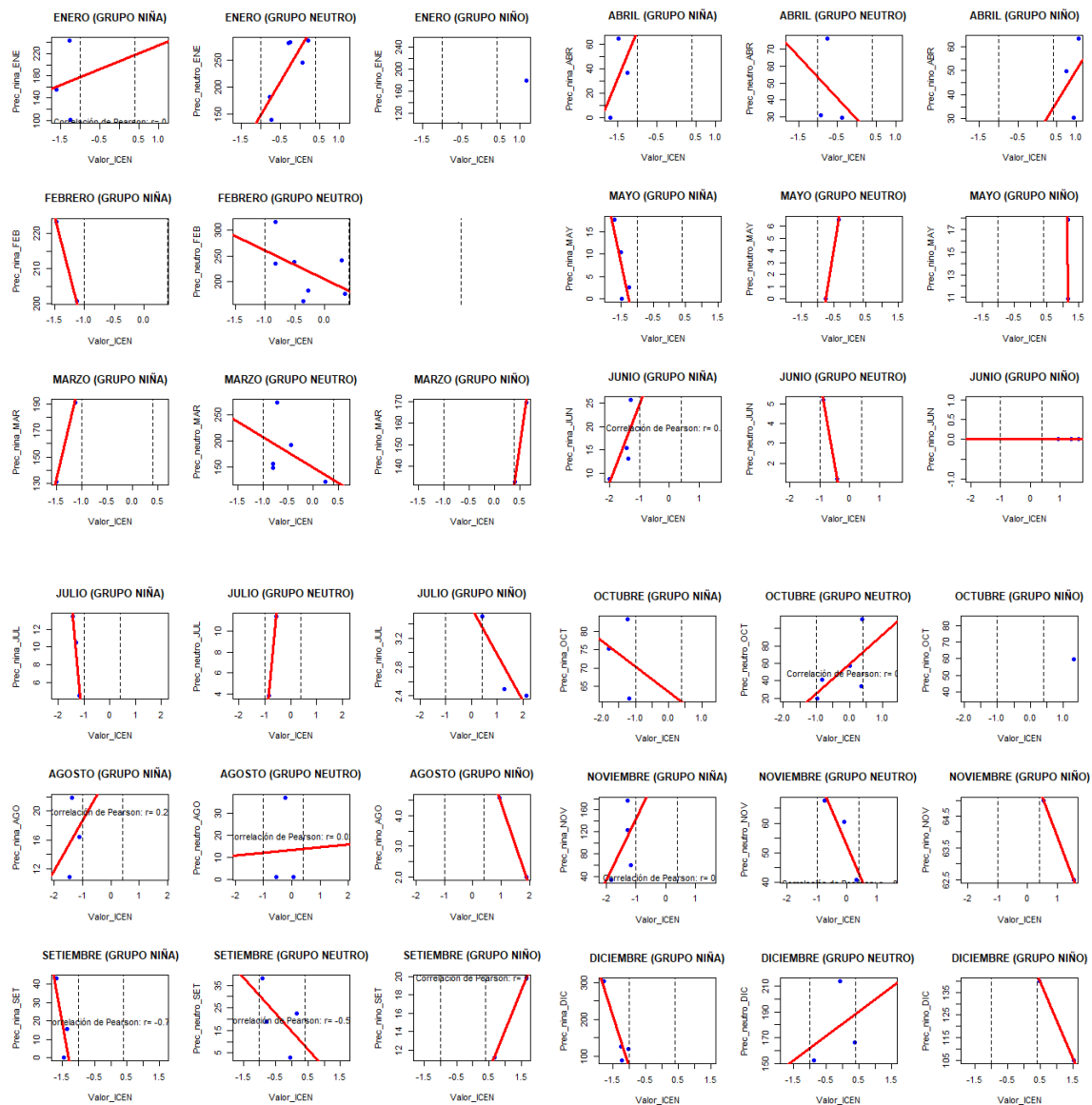


Figura 96. Correlación de Pearson según ICEN (Curpahuasi).

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un análisis mensual la estación Tambobamba con los grupos ENOS del índice ICEN observándose que las tendencias son muy variables de mes a mes lo que indica que no se tiene una tendencia fija y que puede cambiar de mes a mes tal como mostramos en la Figura 97, el análisis se realizó por cada mes y grupo ENOS, donde se muestra la correlación de Pearson de la precipitación con el índice ICEN para la estación Tambobamba para el periodo 1995-2020.

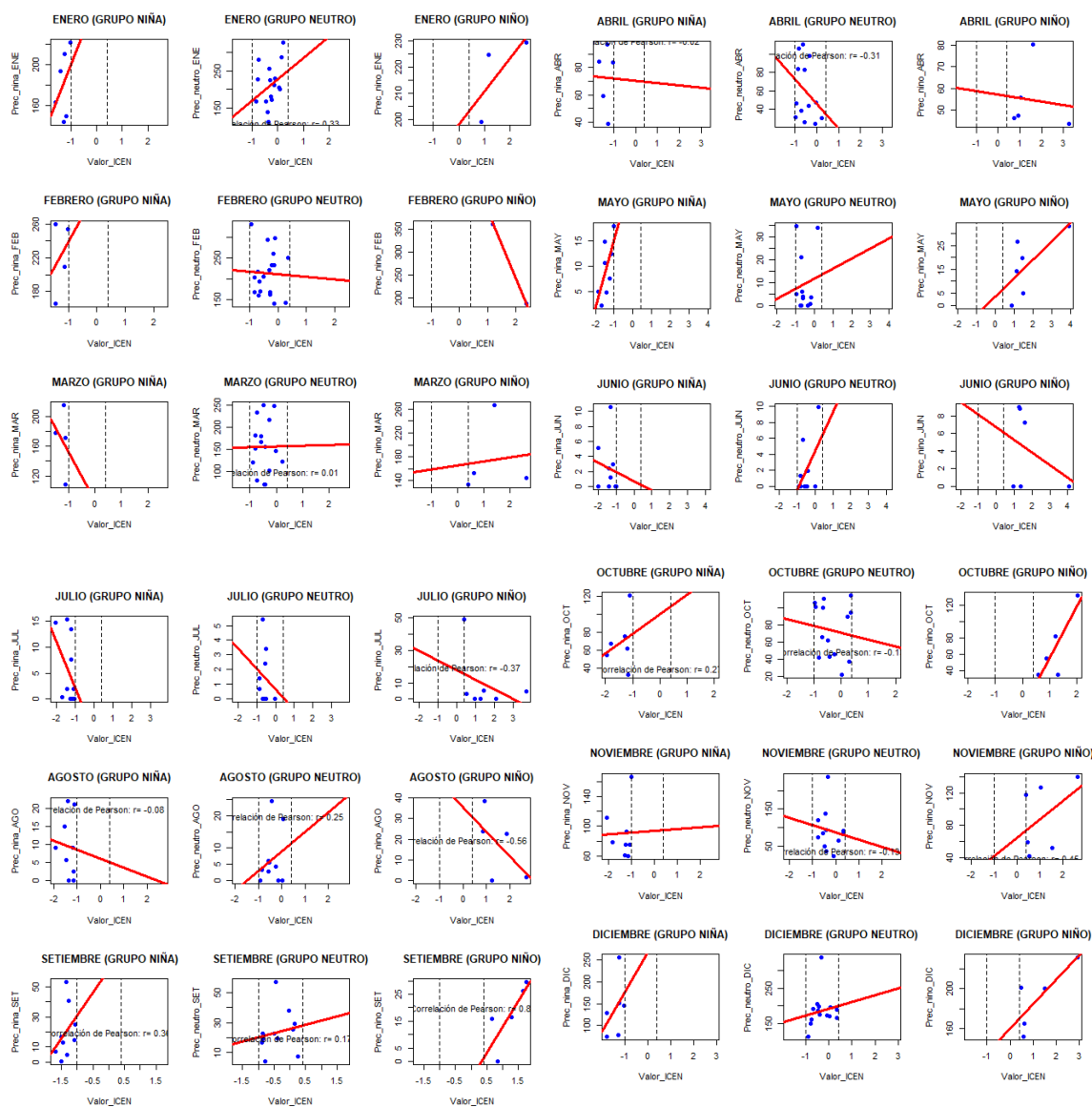


Figura 97. Correlación de Pearson según ICEN (Tambobamba).

Fuente: Elaboración propia.

De los análisis de la precipitación respecto a cada índice (ONI e ICEN) como resultado a este objetivo específico, podemos indicar que para el análisis a escala anual podemos ver que existe una tendencia de variación respecto al incremento o decremento del índice (ONI e ICEN), es decir en todas las estaciones excepto la de Abancay II y Tambobamba (Tablas 13 y 14), todas tienden a que la precipitación disminuya cuando los índices de teleconexión se incrementan o la temperatura superficial del mar TSM se incrementa, ocurriendo lo contrario en las estaciones Abancay II y Tambobamba.

La tendencia nos muestra una ligera variación que este se puede correlacionar entre la precipitación y los índices atmosféricos (ONI e ICEN) mediante las siguientes expresiones:

$$P_{Estacion} = a_1 \cdot ONI + b_1$$

$$P_{Estacion} = a_2 \cdot ICEN + b_2$$

Donde a_1 y a_2 son las pendientes para cada estación y que b_1 y b_2 son las intersecciones de la recta de la tendencia con el eje de las ordenadas, con las se pueden determinar las precipitaciones en función a los índices de teleconexión, sin embargo, en el presente estudio al determinarse las correlaciones muy bajas (Tablas 13 y 14) que están muy por debajo de 0.5 no ofrece la garantía de una proyección real ya que para utilizar las ecuaciones se requieren factores de correlación mayores a 0.5 como recomiendan los investigadores, el cual se podría mejorar dicha condición para correlaciones múltiples que sería materia de otro estudio, por lo que la otra alternativa de relacionar respecto a la variabilidad de los índices con la precipitación es a través de los grupos ENOS con los que se procedió a la completación de los datos debido a la gran escasez de datos de precipitación, utilizando el método de Thomas y Fiering el cual también utiliza los datos de correlación entre el mes anterior (datos históricos) y corrige el factor de incertidumbre manteniendo su media y desviación estándar (método estocástico), en este caso para cada grupo ENOS en su respectiva fase (Niño, Niña, Neutro), tratando de recuperar los datos faltantes de las series históricas en función a los eventos ENOS, y posteriormente extender la serie al periodo requerido, procedimiento que

realizamos en el resultado del objetivo específico 3 que presentamos en la sección 4.4.

Para el análisis a escala mensual podemos indicar que existe una gran variabilidad en cada mes y que con la información disponible recopilada no se ha podido encontrar un patrón continuo entre los meses y estación, o cual requiere un mayor análisis a escala regional es decir con muchos más estaciones fuera del ámbito del departamento de Apurímac, ya que los datos observados tienen longitudes , muy cortas observándose en las Figuras 70 al 78 (ONI) y 89 al 97 (ICEN), que al separar los eventos por meses, algunos no cuenta con la información suficiente para establecer una tendencia y en algunos casos no se tiene datos para ese mes lo cual nos ha dificultado encontrar un patrón representativo en el mes de análisis, por lo que optamos para el análisis a nivel multianual.

En vista que, del análisis comparativo entre las correlaciones calculadas entre los índices ONI e ICEN todas muestran una ligera tendencia al incremento de la variación de la temperatura superficial del mar, el Índice Costero El niño presenta mayor significancia entre los grupos de precipitación según las fases (Caliente, frío y neutro), lo que nos permite trabajar con dicho índice para completar los datos de las series históricas realizando un análisis por cada grupo ENOS y por cada estación.

4.4 Completación y generación de series incompletas.

Para el tratamiento de datos de las series incompletas disponibles (Figuras 98 series mensuales y Figura 99 series de promedio multianual), en los cuales se han realizado diversas pruebas de homogeneidad y tendencia de las series históricas, los cuales se han seguido las recomendaciones del Programa Hidrológico Internacional, PHI UNESCO (2006) para obtener la consistencia de los datos previo a su completación y extensión de las series históricas, y que también se tomado en cuenta las consideraciones de los análisis de tratamiento de datos realizados también por (Medina, 2008), (Barrera, 2004), (Olave, 2015) en sus respectivos estudios.

Una vez realizado las pruebas de consistencia y homogeneidad de datos para las nueve estaciones consideradas en el estudio (Tablas 15 al 17) se procedió a la completación de los datos debido a la gran escasez de datos de precipitación, utilizando el método de Thomas y Fiering el cual como se ya se mencionó que utiliza los datos de correlación entre el mes anterior (datos históricos) y corrige el factor de incertidumbre manteniendo su media y desviación estándar a través de un método estocástico para determinar los valores faltantes (Herrera, 2013), realizándose para cada grupo ENOS en su respectiva fase (Niño, Niña, Neutro), ubicando el mes y año de dichos eventos, tratando de recuperar los datos faltantes de las series históricas en función a los eventos ENOS, y posteriormente extender la serie al periodo requerido.

Para esta parte se realizó de acuerdo a la metodología que se presentó en la Figura 8 donde se detalla la secuencia del análisis para la completación y extensión de las series en un periodo extendido y obtener datos de precipitación en el lugar del proyecto..

Así mismo en la Figura 98 observamos las series de precipitación acumulada mensual de las estaciones consideradas para el estudio, y que la mayoría de las estaciones contienen series incompletas para el periodo 1964-2020 como se muestra en la figura a excepción de la estación Curahuasi, la misma que también ofrece inconsistencias a la que se tuvo que realizar el ajuste y corrección de la serie histórica.

Muchas de estas series se encuentran incompletas por diversos problemas como: por la discontinuidad y abandono del monitoreo, deficiencias técnicas, reubicación de equipos, problemas de carácter socio político de la convulsión social de los años ochenta, reciente instalación de nuevos equipos y otros problemas por el desinterés de las autoridades locales y regionales.

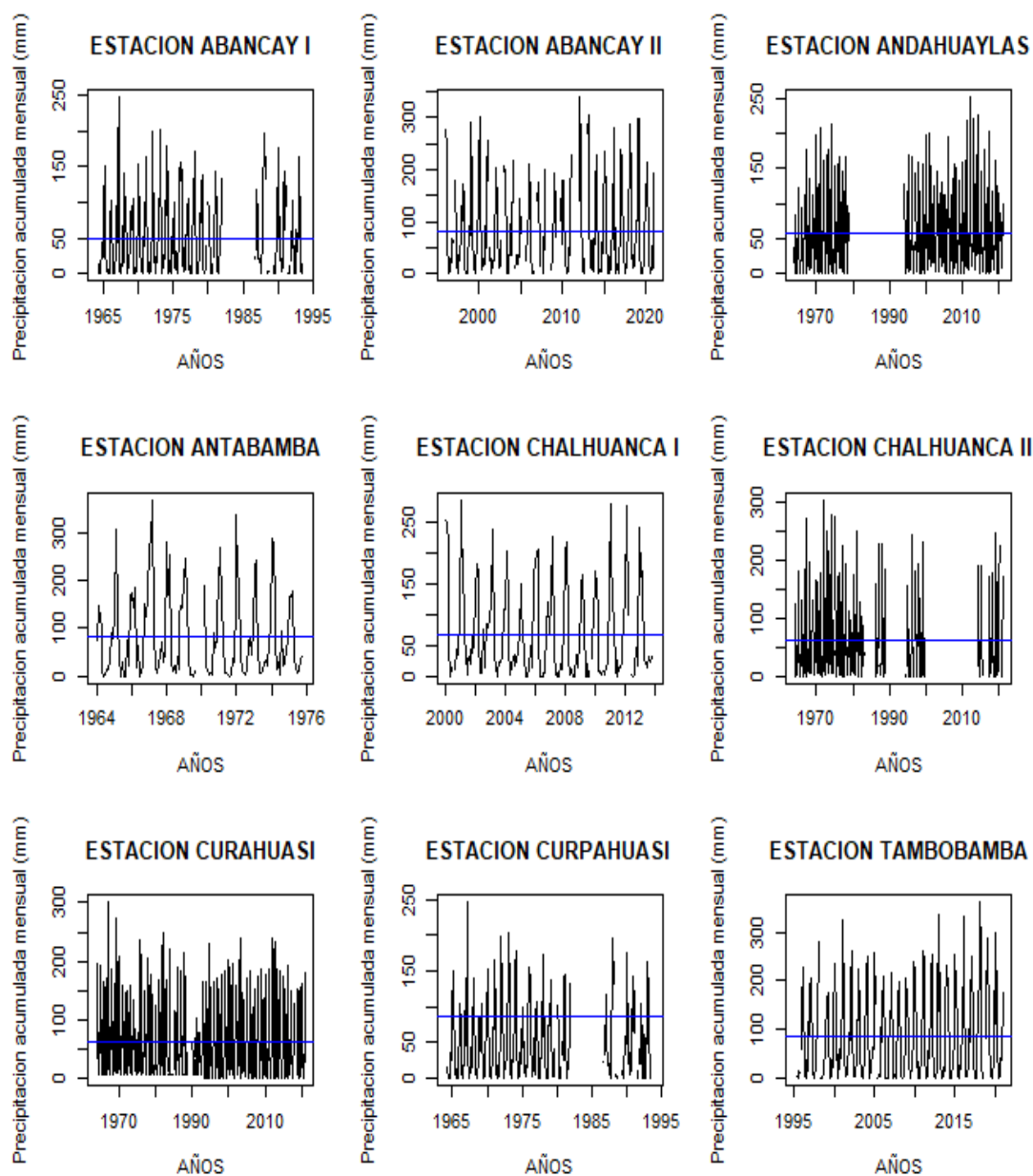


Figura 98. Precipitación acumulada mensual de las series incompletas.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de las series incompletas observadas en cada estación (Figura 98) se obtuvo las series de precipitación acumulada anual o precipitación acumulada multianual para el periodo 1964-2020 (Figura 99), observándose series discontinuas debido a que la mayoría de estaciones no cuenta con años completos de precipitación mensual como mostramos en la Figura 99.

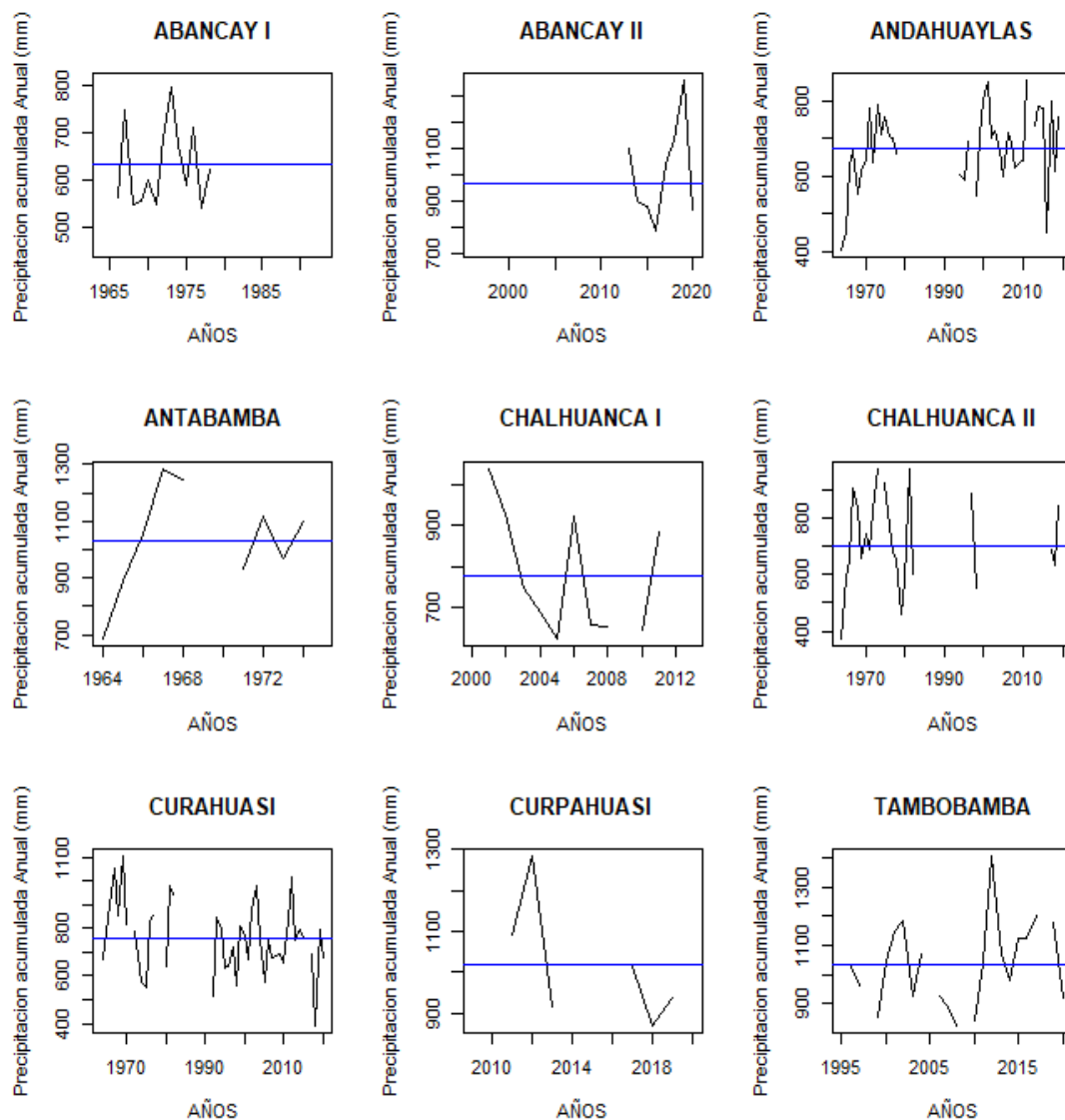


Figura 99. Precipitación acumulada multianual de las estaciones incompletas.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.1 Análisis y tratamiento de datos de las series históricas

A partir de los datos observados de precipitación observados y disponibles (Figura 98 y 99), se realizó para cada estación las pruebas de análisis de homogeneidad y consistencia donde se verificó la presencia de saltos y tendencias en las series históricas (Tablas 15 al 17), mostrándose los siguientes resultados al respecto.

Para las estaciones Abancay I, Abancay II y Andahuaylas se muestra los resultados del análisis de homogeneidad y consistencia en la Tabla 15.

Tabla 15. Análisis de consistencia y homogeneidad

Estación	Abancay I	Abancay II	Andahuaylas
Análisis de saltos			
Presencia de salto	SI	NO	SI
Consistencia en la Media	CONSISTENTE		CONSISTENTE
Consistencia en la desv. estándar	INCONSISTENTE		CONSISTENTE
Análisis en la Tendencia			
Tendencia en la media	CONSISTENTE	CONSISTENTE	CONSISTENTE
Tendencia en la desv. estándar	CONSISTENTE	CONSISTENTE	CONSISTENTE
Corregido	SI	NO	NO

Fuente: Elaboración propia

donde se observa que la estación Abancay I requiere una corrección debido a la inconsistencia en la desviación estándar. De igual manera se realizó el análisis para las estaciones de Antabamba, Chalhuanca I y Chalhuanca II de los cuales se muestran los resultados del análisis de homogeneidad y consistencia en la Tabla 16.

Tabla 16. Análisis de consistencia y homogeneidad

Estación	Antabamba	Chalhuanca I	Chalhuanca II
Análisis de saltos			
Presencia de salto	SI	SI	SI
Consistencia en la Media	CONSISTENTE	CONSISTENTE	CONSISTENTE
Consistencia en la desv. estándar	INCONSISTENTE	CONSISTENTE	INCONSISTENTE
Análisis en la Tendencia			
Tendencia en la media	CONSISTENTE	CONSISTENTE	CONSISTENTE
Tendencia en la desv. estándar	INCONSISTENTE	CONSISTENTE	CONSISTENTE
Corregido	SI	NO	SI

Fuente: Elaboración propia.

Observándose en tabla anterior que la estación de Antabamba presenta inconsistencia en la desviación estándar y también en la tendencia de la desviación estándar motivo por el cual se realizó la corrección de la serie histórica. Así también se obtuvo los resultados de análisis para las estaciones de Curahuasi, Curpahuasi y Tambobamba de los cuales se muestran los resultados del análisis de homogeneidad y consistencia en la Tabla 17, observándose que la estación de Curahuasi es inconsistente presentando salto e inconsistencia en la tendencia por lo que se realizó la corrección adecuada.

Tabla 17. Análisis de consistencia y homogeneidad

Estación	Curahuasi	Curpahuasi	Tambobamba
Análisis de saltos			
Presencia de salto	SI	NO	SI
Consistencia en la Media	INCONSISTENTE		CONSISTENTE
Consistencia en la desv. estándar	INCONSISTENTE		CONSISTENTE
Análisis en la Tendencia			
Tendencia en la media	INCONSISTENTE	CONSISTENTE	CONSISTENTE
Tendencia en la desv. estándar	INCONSISTENTE	CONSISTENTE	CONSISTENTE
Corregido	SI	NO	NO

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Completación y extensión de datos de las series históricas

Para la completación y extensión de datos se ha realizado por el método de Thomas y Fiering considerando los grupos de eventos ENOS donde los parámetros de Thomas y Fiering se ha determinado para cada grupo (Niño, Niña y Neutro) según corresponda en la series históricas, así el dato completado se relaciona con el evento de ocurrencia de un periodo seco o húmedo ya que los métodos convencionales consideran el valor promedio de la series históricas, en este caso el valor considerado es el promedio de cada grupo o fase del cual corresponde (año y mes del evento). Siendo el método utilizado un método estocástico para obtener los valores faltantes (Herrera, 2013)

a). Grupos de eventos de ENOS

Como en el análisis de variabilidad climática se ha procedido a separar por grupos según la metodología presentada (Figura 9), en tres grupos según la fase de ocurrencia tomando como base el índice de teleconexión ICEN del cual se muestra una variabilidad significativa lo cual nos permitió establecer la relación para definir los eventos o fases ENOS y obtener los grupos para luego también identificar el mes y año del dato faltante.

En la Figura 100 se muestra el comportamiento de grupos de la precipitación de acuerdo a las fases ENOS según el índice ICEN donde se muestra una variación significativa el cual se realizó en la sección 4.3. que corresponde al objetivo específico 2.

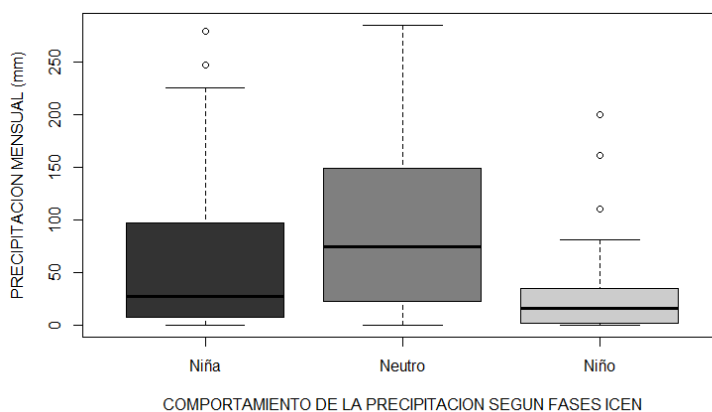


Figura 100. Grupos de la precipitación según ICEN.

Fuente: Elaboración propia.

b). Método de Thomas y Fiering

Luego de la clasificación de los grupos o fases ENOS de la precipitación según el índice ICEN se procedió a determinar los parámetros de Thomas y Fiering para cada grupo (Niño, Niña y Neutro) y así calcular por métodos estocásticos los valores de la precipitación para cada mes y año correspondiente al grupo seleccionado utilizando el promedio, desviación estándar, el coeficiente de correlación y una desviación normal aleatoria.

Los resultados de la completación se realizaron con ayuda del programa R con lo que mostramos los resultados para cada estación (Figura 101) para los datos mensuales obtenidos en la completación y extensión de los datos.

En la Figura 101 mostramos los resultados de la precipitación acumulada mensual de las estaciones completadas y extendidas para el periodo 1964-2020

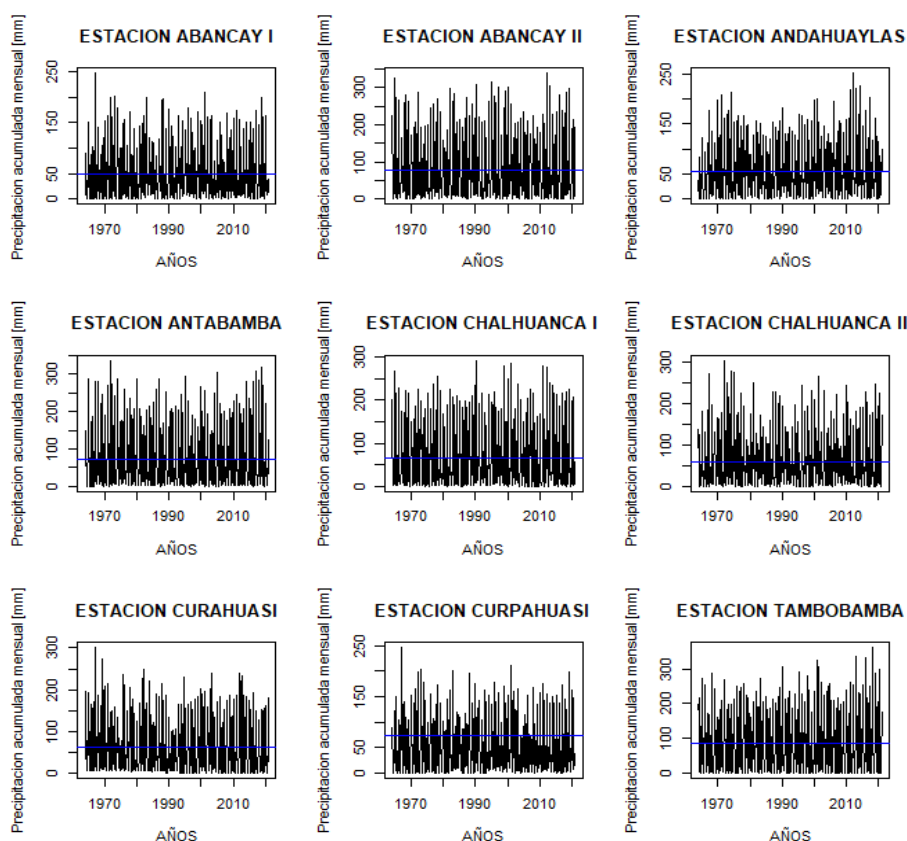


Figura 101. Precipitación acumulada mensual completadas y extendidas

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera presentamos los resultados para las series históricas completas de la lluvia acumulada anual para cada estación (Figura 102), con los mismos que se pudo promediar y obtener el promedio multianual en cada estación, obteniendo los resultados en la tabla 18. Siendo la estación Tambobamba con mayor promedio multianual de precipitación acumulada y la estación de Abancay I con menor promedio multianual de precipitación acumulada.

En la Figura 102. Se muestra la precipitación acumulada anual de las estaciones completadas y extendidas para el periodo 1964-2020.

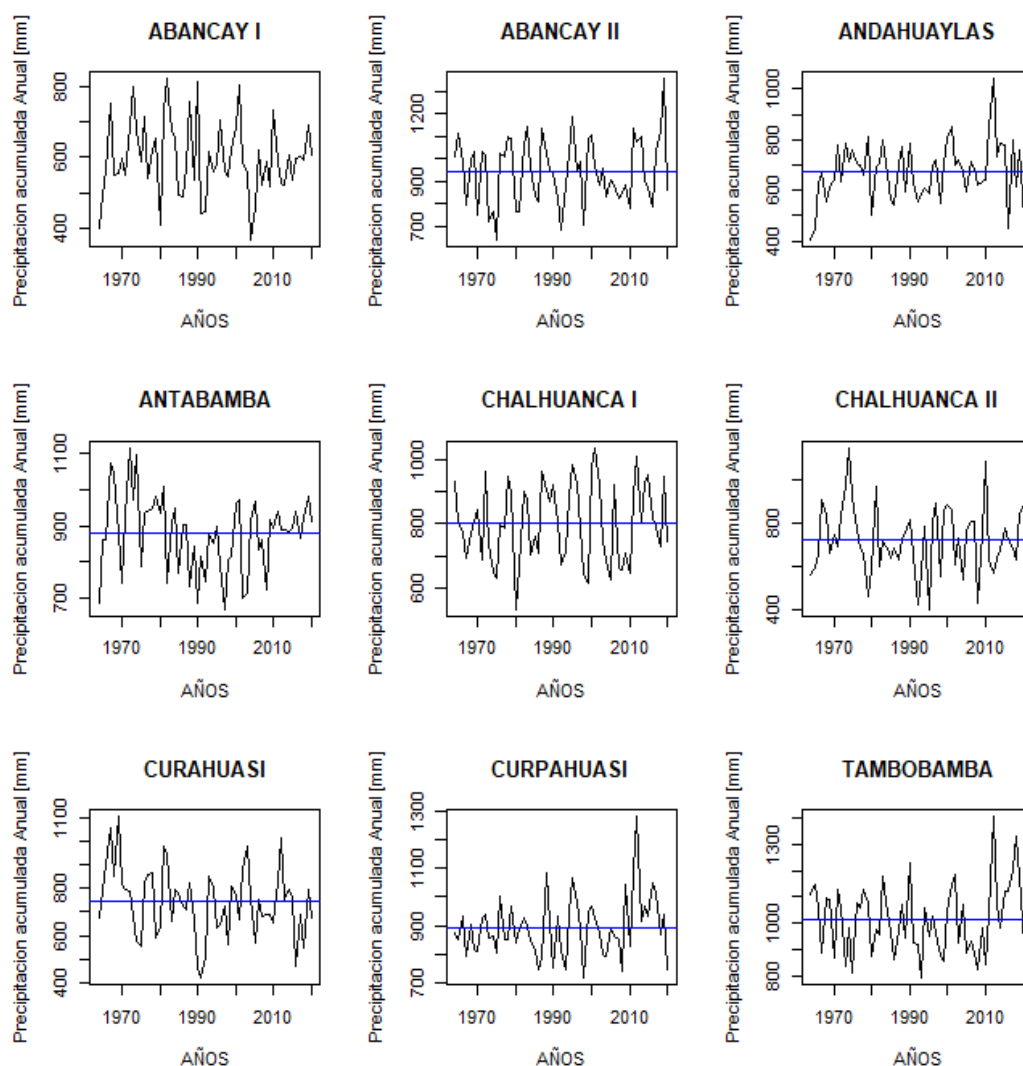


Figura 102. Precipitación anual de las estaciones completadas y extendidas

Fuente: Elaboración propia.

Así también mostramos los resultados de la completación y extensión de datos en la Tabla 18, donde se aprecia los promedios multianuales de cada estación con su respectiva altitud, y que dicha tabla nos permitió determinar el mapa de isoyetas para las estaciones del departamento de Apurímac previa verificación y pruebas estadísticas realizadas a las series de precipitación obtenidas..

Tabla 18. Promedio multianual de las estaciones completadas

Estación	Altitud [msnm]	Precip. media multianual [mm]
Abancay I	2377	598.00
Abancay II	2780	947.10
Andahuaylas	2981	673.96
Antabamba	3639	879.55
Chalhuanca	3558	803.56
Chalhuanca II	2850	721.39
Curahuasi	2741	741.59
Curpahuasi	3535	890.25
Tambobamba	3454	1016.98

Fuente: Elaboración propia.

4.4.3 Análisis de datos de las series históricas completadas y extendidas

Con los datos obtenidos se realizó las pruebas de normalidad y estacionalidad

a). Análisis grafico de normalidad de los datos completados en las series históricas.

Para el análisis de normalidad obtuvimos la Figura 103 en la que se observa que los datos de precipitación no se alinean de forma perfecta, pero tienden a un patrón lineal, esto significa que en la práctica se debe ser prudente con la interpretación de un QQplot, sin embargo, un alejamiento del patrón lineal NO significa que la muestra no provenga de una población normal.

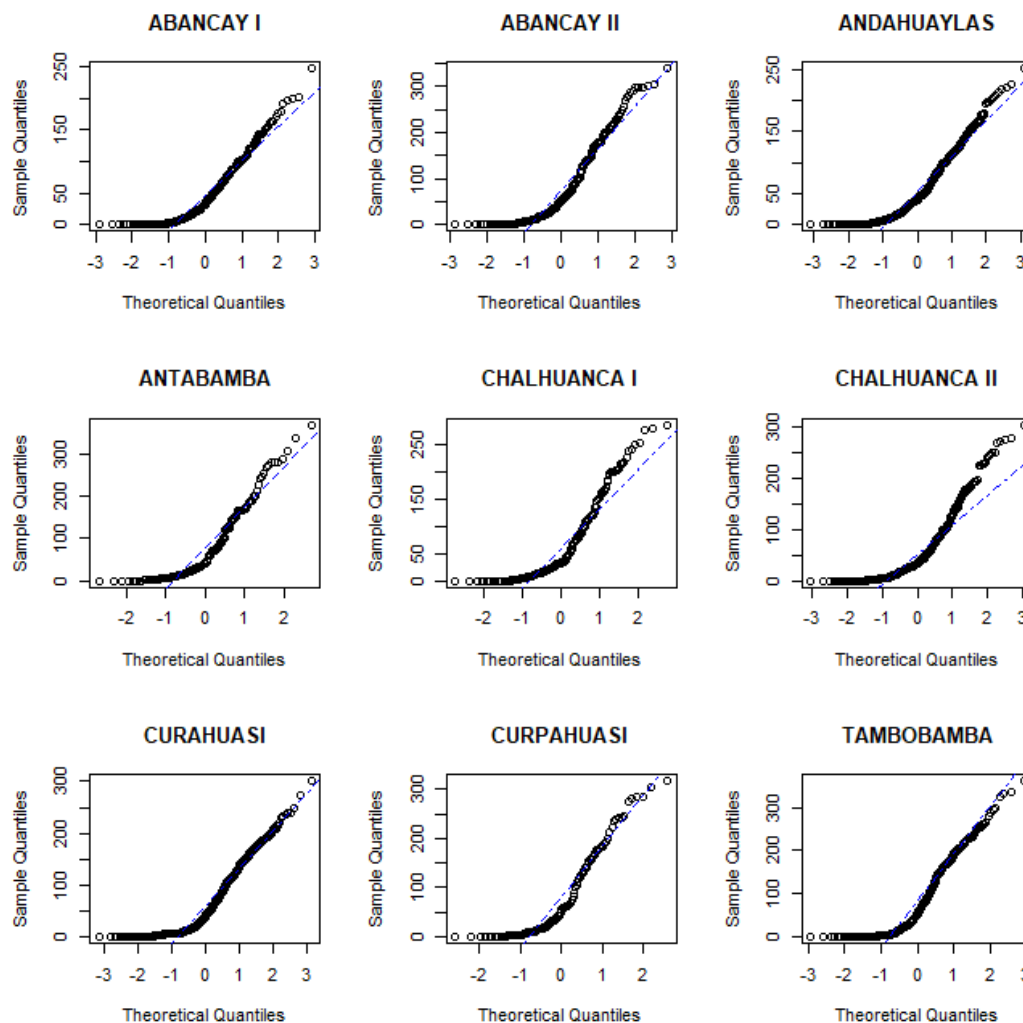


Figura 103. Análisis de normalidad en las series de precipitación.

Fuente: Elaboración propia.

b). Análisis grafico de la estacionariedad de los datos completados en las series históricas.

De igual modo se obtuvo la prueba de estacionariedad (Figura 104) donde se muestra que, para cada estación los datos de precipitación siguen una estacionariedad mensual a lo largo del año mostrándose los máximos y mínimos valores de precipitación de cada mes, esto significa que cada mes la precipitación presenta un comportamiento estacionario representativo en cada mes que corresponde al promedio mensual de la precipitación.

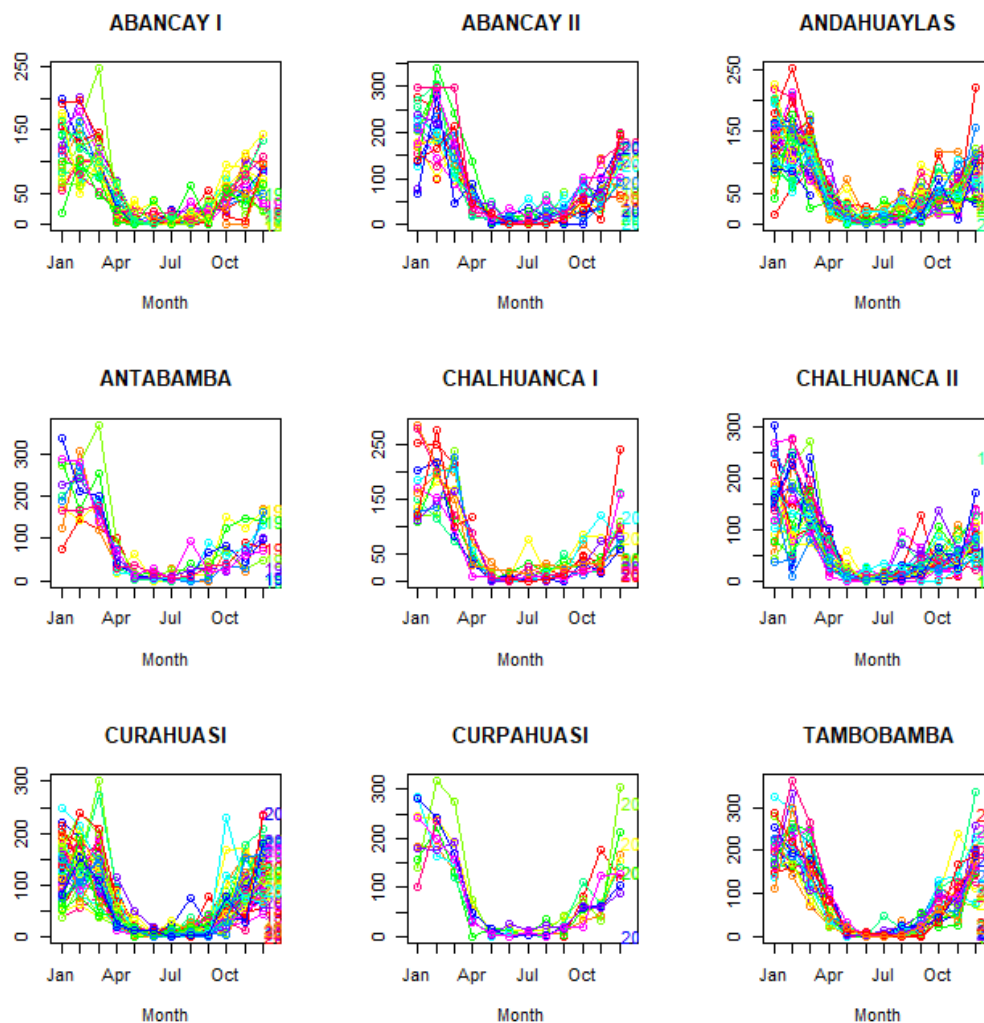


Figura 104. Variación estacional mensual la precipitación.

Fuente: Elaboración propia.

De la misma manera la Figura 105 se muestra que, para cada estación los datos de la precipitación mantienen una estacionariedad mensualizada a lo largo del año mostrándose los máximos y mínimos debido precisamente a épocas secas y húmedas para lo cual la Figura 105 muestra un gráfico (boxplot) que representa los cuantiles de cada mes con un comportamiento estacional.

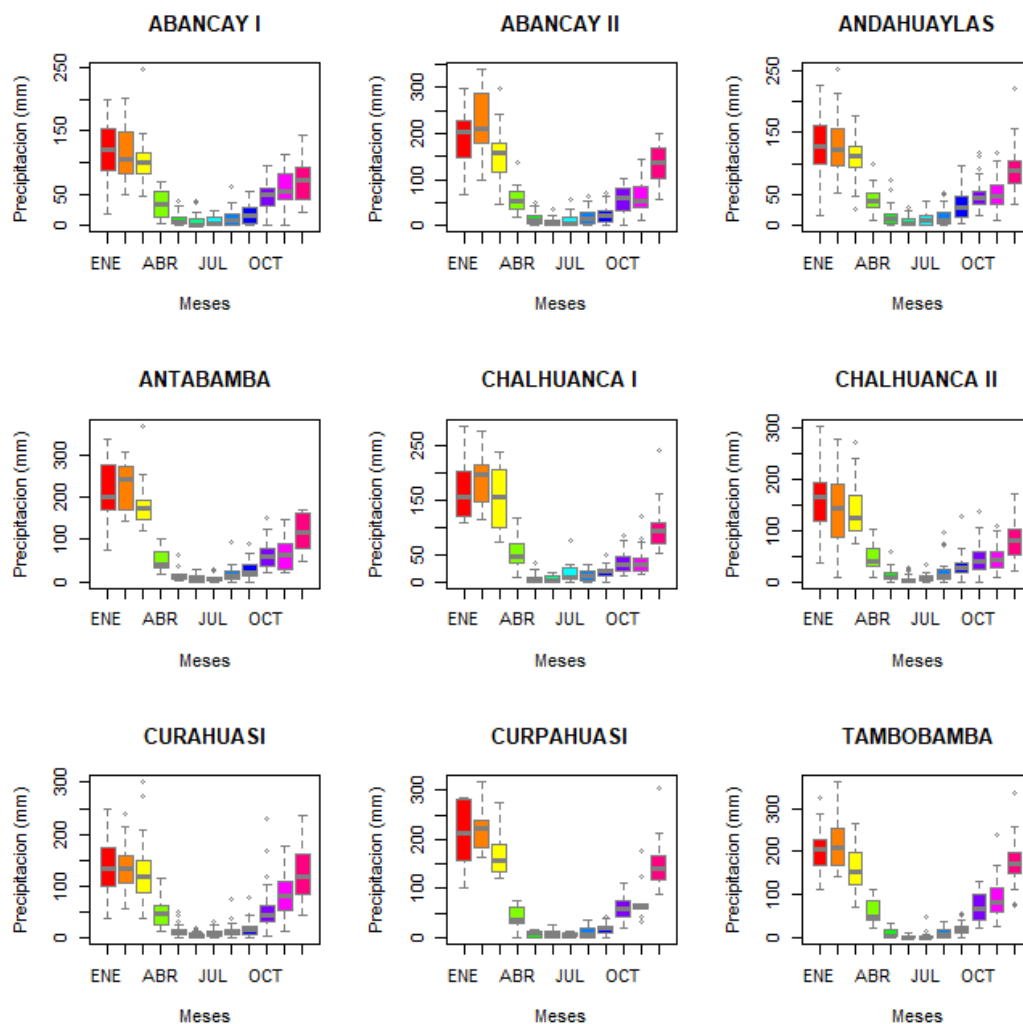


Figura 105. Variación estacional según boxplot de la precipitación.

Fuente: Elaboración propia.

c). Análisis de doble masa para las estaciones consideradas.

Una vez realizada las pruebas gráficas y estadísticas de los datos de precipitación en las estaciones completadas y extendidas se procedió también a realizar el análisis de doble masa con el fin de verificar si existen saltos en alguna estación, para ello se tomó una estación base que se obtuvo del promedio de la precipitación acumulada de las estaciones consideradas con los cuales se obtuvo el análisis grafico (ver Figura 106).

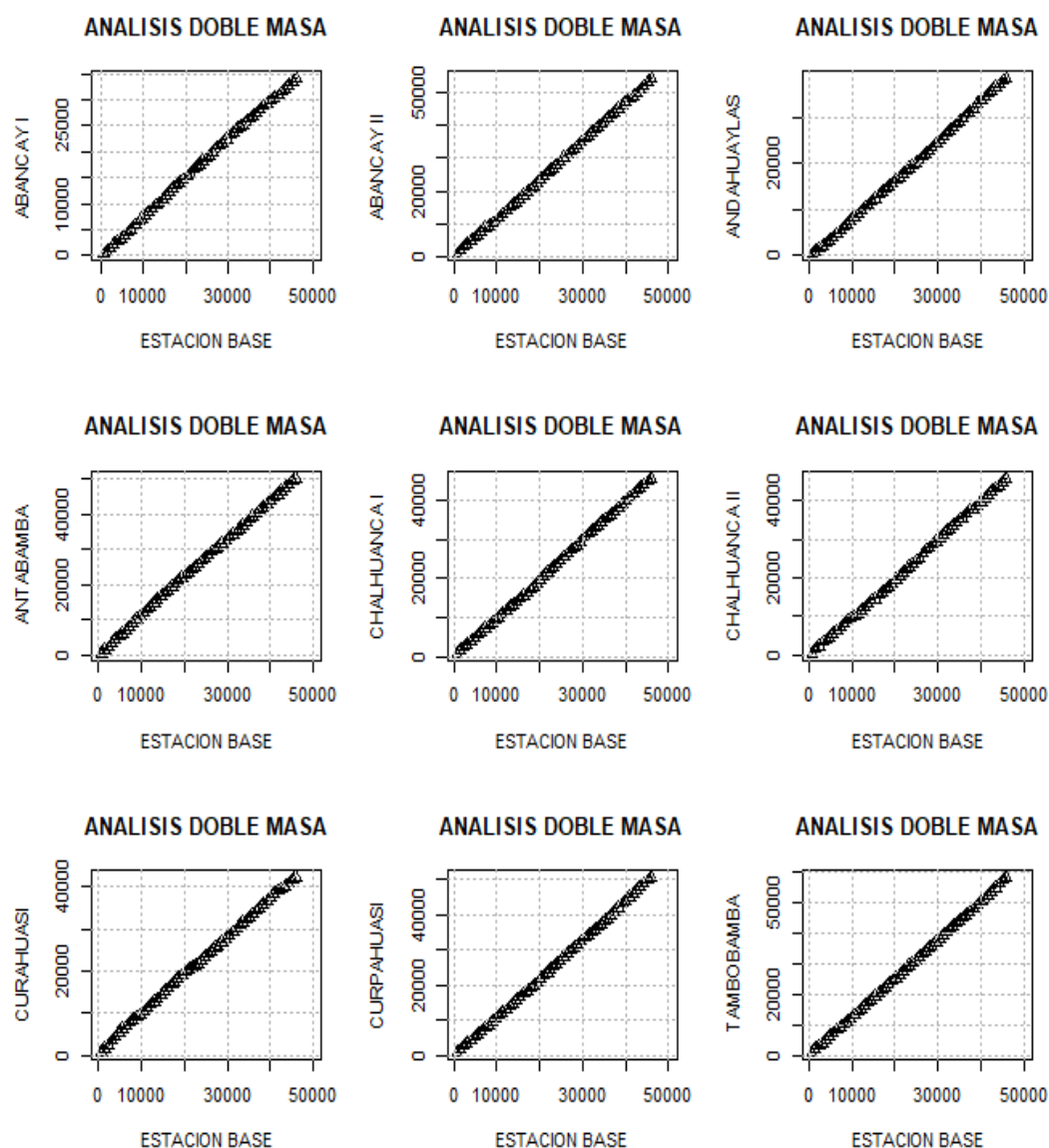


Figura 106. Análisis doble masa de las estaciones consideradas.

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo también para ver la simultaneidad de análisis de doble masa de las estaciones con respecto a la estación base se muestra la Figura 107 donde se observa que, los datos de las estaciones tienden a una línea recta y que ninguno se interseca, por lo cual podemos indicar que no presenta ningún salto y que las series completadas y extendidas son consistentes y homogéneas obteniendo de esta manera las series validadas para su uso en los análisis hidrológico a emplear.

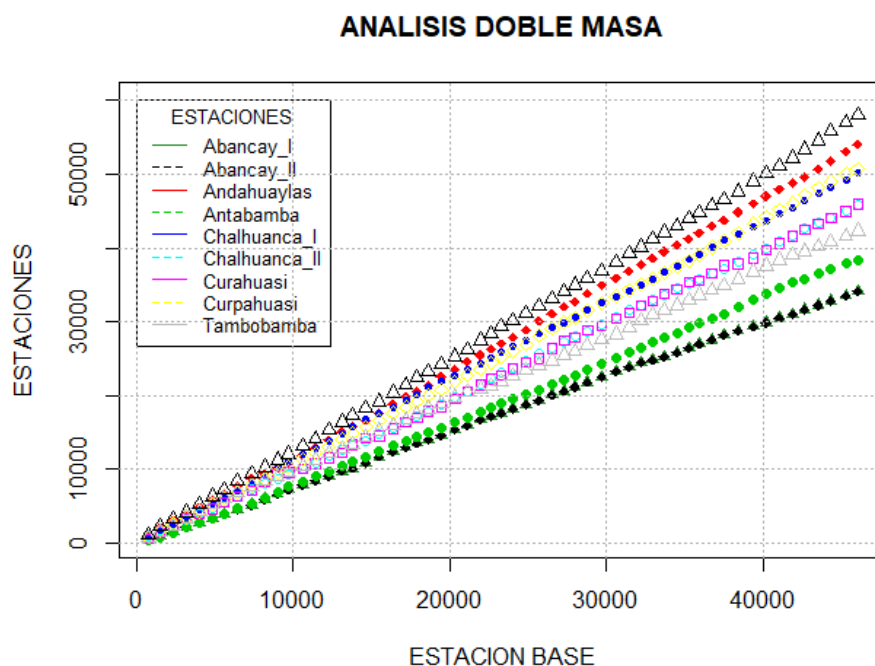


Figura 107. Consolidado del análisis doble masa de las estaciones.

Fuente: Elaboración propia.

c). Relación altura precipitación de las estaciones consideradas

Con las series de precipitación consistentes y homogéneas se procedió a la obtención la relación precipitación altura para el cual se realizó una correlación lineal con todas las estaciones consideradas para el estudio con su respectivo promedio multianual y su respectiva altura de cada estación (ver Tabla 19), buscando siempre la mejor correlación y que para ello se ha tenido que excluir a la estación Abancay II ya que considerando dicha estación se obtuvo una baja correlación y al excluirlo mejoro notablemente la correlación obteniéndose así,

un valor de r de 0.831 que se considera un valor muy bueno para una correlación y así obtener una ecuación lineal representativa de las estaciones de estudio.

Tabla 19. Relación precipitación altura para las estaciones

Estacion	Altitud [msnm]	Prec. media multianual [mm]
Abancay I	2377	608.87
Andahuaylas	2981	673.96
Antabamba	3639	879.55
Chalhuanca	3558	803.56
Chalhuanca II	2850	721.39
Curahuasi	2741	741.59
Curpahuasi	3535	890.25
Tambobamba	3454	1016.98

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 108 se muestra la ecuación de correlación obtenida con los valores de la precipitación multianual de las estaciones consideradas en el estudio para el periodo de 1964-2020. Obteniendo un valor de $r=0.831$ y un coeficiente de determinación de r^2 de 0.690 los cuales se consideran importantes para una ecuación de correlación.

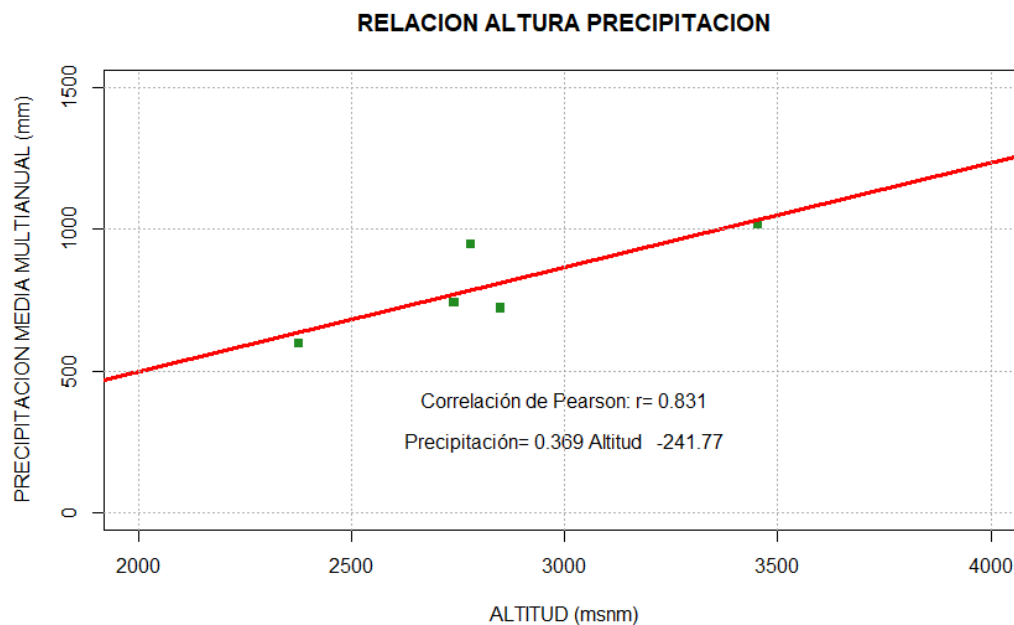


Figura 108. Relación altura precipitación de las estaciones.

Fuente: Elaboración propia.

Obteniéndose también la ecuación que relaciona la altitud con la precipitación

$$\text{Precipitación} = 0.369 * \text{Altitud} - 241.77$$

Para el cálculo de las isoyetas de la precipitación media multianual se utilizó la Tabla 18 (Sánchez, 2008), de donde se construyó las isoyetas de las estaciones del departamento de Apurímac para el periodo 1964-2020, observándose el rango de las precipitaciones que varían de los 600 mm a los 1100 mm.

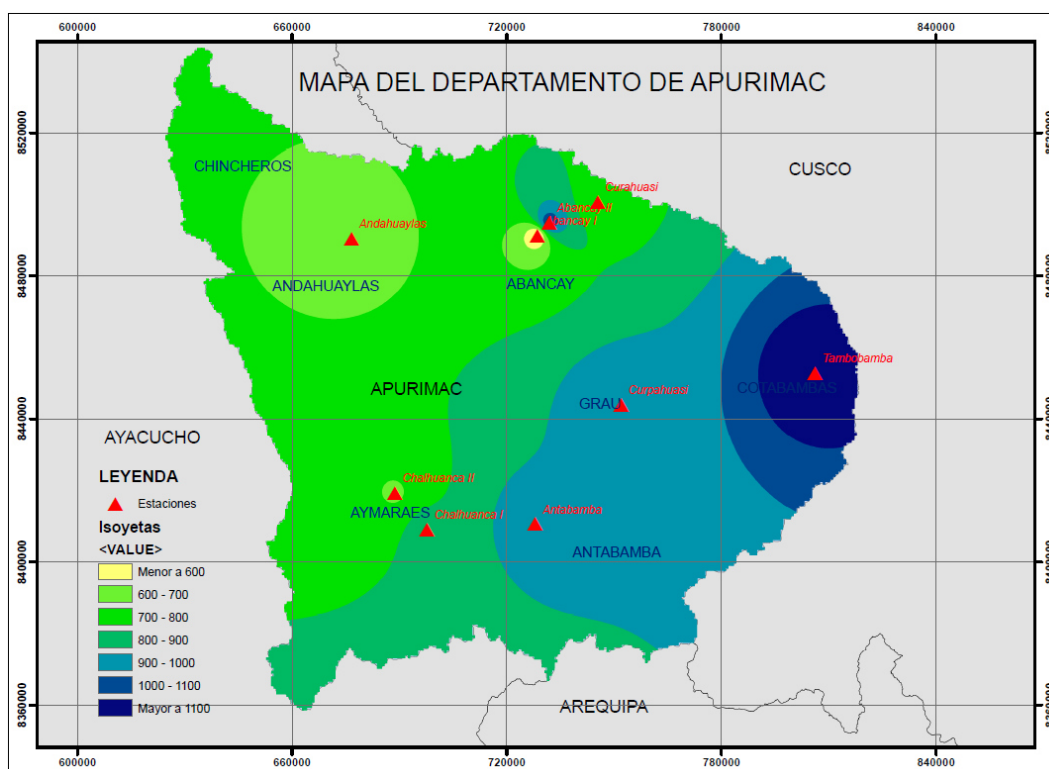


Figura 109. Isoyetas de precipitación media multianual.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.4 Generación de datos de precipitación en el ámbito del proyecto.

Para la generación de datos de precipitación en la zona de estudio se realizó la verificación de la ubicación altitudinal (altitud media) en los puntos de interés de las unidades hidrográficas de interés como son las lagunas Rontoccocha, Alfaccocha y Alccoccocha. Con las altitudes medias definidas se procedió a determinar los factores de corrección tomándose como base a la estación Abancay I (ver Tabla 20)

Tabla 20. Factores de corrección para las estaciones fictas de estudio

Estacion	Altitud [msnm]	Prec. media multianual [mm]	Factor
Abancay I	2377	608.87	613.41
Andahuaylas	2981	673.96	754.45
Antabamba	3639	879.55	908.10
Chalhuanca	3558	803.56	889.19
Chalhuanca II	2850	721.39	723.86
Curahuasi	2741	741.59	698.41
Curpahuasi	3535	890.25	883.82
Tambobamba	3454	1016.98	864.90
Rontoccocha	4200		1039.10 1.694
Allccoccocha	4490		1106.82 1.804
Alfallaccocha	4475		1103.32 1.799

Fuente: Elaboración propia.

Obteniéndose a partir de la tabla anterior las precipitaciones medias anuales (Tabla 21) para la unidad hidrográfica Rontoccocha de 1039.41 mm, para la unidad hidrográfica Allccoccocha de 1106.82 mm y para la unidad hidrográfica Rontoccocha Alfallaccocha 1103.32 mm con los cuales se procedió a generar los datos de precipitación en cada estación ficta (Tablas 22 al 24).

Tabla 21. Precipitaciones promedio en las estaciones fictas

Estacion	Altitud [msnm]	Prec. media multianual [mm]	Factor
Abancay I	2377	613.41	
Rontoccocha	4200	1039.10	1.694
Allccoccocha	4490	1106.82	1.804
Alfallaccocha	4475	1103.32	1.799

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. Precipitación en la estación areal Rontoccocha [mm].

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	144.82	151.17	139.87	23.89	0.00	0.00	0.00	0.00	60.98	41.84	73.18	41.33	677.09
1965	159.07	255.96	166.52	66.57	6.78	8.47	22.70	0.00	3.16	0.00	2.37	146.36	837.97
1966	125.19	174.48	135.18	9.32	67.25	0.00	0.00	12.87	38.96	161.10	153.31	76.74	954.40
1967	201.76	271.72	417.57	46.75	10.84	1.36	22.87	19.31	34.90	113.50	25.58	104.18	1270.33
1968	236.48	130.10	184.14	17.11	14.57	2.03	22.02	16.77	24.05	68.27	145.68	66.24	927.47
1969	140.60	145.01	178.38	116.55	0.68	15.92	2.03	12.03	4.57	86.73	90.63	149.58	942.71
1970	260.03	113.50	134.67	65.56	14.23	4.57	25.41	0.00	53.70	120.61	66.74	153.65	1012.67
1971	184.65	277.82	151.10	69.45	6.61	28.46	0.34	4.40	3.73	51.16	69.12	81.14	927.97
1972	336.94	216.15	169.40	42.35	3.73	0.00	38.45	31.51	27.44	57.43	93.17	148.39	1164.96
1973	212.26	342.70	203.45	116.72	18.30	0.00	18.30	43.87	45.57	36.93	172.79	139.92	1350.80
1974	258.00	301.36	184.82	88.09	0.00	20.16	6.61	60.31	3.22	55.90	115.70	48.11	1142.26
1975	93.00	169.57	167.20	14.74	52.18	19.31	2.88	17.45	26.09	74.54	117.73	241.06	995.73
1976	262.06	222.93	246.14	90.46	18.13	35.40	5.25	35.74	93.17	24.73	10.50	163.47	1207.99
1977	98.93	178.89	167.20	8.47	5.93	0.68	19.31	0.00	47.43	45.91	181.60	161.78	916.12
1978	291.20	101.13	146.02	31.34	52.51	0.00	2.71	0.68	54.89	106.38	142.30	123.66	1052.82
1979	151.95	208.02	232.08	114.85	13.89	2.37	4.74	11.69	66.74	87.25	90.28	119.09	1102.97
1980	170.92	154.83	127.73	4.24	1.52	0.00	24.22	0.00	17.20	84.19	69.28	41.16	695.31
1981	240.72	244.27	130.44	83.85	5.76	0.85	8.64	30.49	49.30	96.73	128.74	224.29	1244.07
1982	275.28	257.02	194.79	82.89	15.05	58.60	10.18	9.17	45.95	7.84	180.31	167.58	1304.66
1983	338.81	206.05	54.25	129.97	35.68	33.50	17.82	14.18	73.33	78.09	50.07	106.56	1138.30
1984	203.21	110.33	123.63	54.62	19.68	17.86	15.34	56.92	17.27	113.51	192.90	152.96	1078.22
1985	179.81	184.75	87.48	104.68	25.40	25.27	7.28	31.32	94.95	40.20	1.75	54.28	837.17
1986	142.96	145.30	144.22	66.60	17.73	13.61	0.06	37.60	38.25	69.37	100.13	55.81	831.62
1987	199.09	133.26	87.18	37.16	34.52	26.40	35.40	13.24	0.00	86.97	136.33	181.76	971.32
1988	325.48	332.06	224.76	123.84	25.95	7.10	6.44	0.00	4.02	77.04	49.13	106.71	1282.52
1989	181.34	231.93	135.19	22.24	1.33	16.97	0.00	27.50	2.71	101.01	81.92	108.69	910.81
1990	296.73	251.98	174.51	100.13	32.99	61.51	7.53	34.52	16.31	135.90	190.53	240.56	1543.21
1991	281.82	276.11	206.77	113.48	31.45	7.15	0.00	0.00	18.72	44.90	69.85	36.06	1086.31
1992	202.39	175.39	81.04	41.11	0.00	68.09	0.00	104.74	0.00	95.30	52.74	109.13	929.92
1993	277.42	202.16	170.56	107.59	10.61	0.00	23.77	17.15	48.25	69.82	66.90	51.20	1045.44
1994	174.33	150.83	258.83	10.02	11.11	23.35	18.49	39.56	22.13	73.87	56.04	109.04	947.62
1995	229.46	145.71	100.87	135.98	20.60	14.81	18.21	30.13	19.12	117.15	20.94	136.09	989.06
1996	303.43	179.97	225.09	10.14	20.44	61.19	26.68	30.07	20.27	76.31	31.82	159.21	1144.63
1997	267.34	179.16	109.26	79.75	20.20	55.16	11.09	15.91	6.70	26.19	161.07	26.98	958.82
1998	143.03	167.25	81.33	89.36	20.20	50.26	2.13	37.62	93.06	13.75	125.58	103.46	927.03
1999	289.53	180.33	141.80	87.86	18.09	29.05	6.92	65.08	21.28	3.48	102.06	105.62	1051.09
2000	258.13	144.96	245.42	128.55	44.79	35.17	18.50	36.21	28.60	77.95	67.95	79.06	1165.30
2001	281.15	181.76	356.55	128.88	44.35	5.64	4.82	64.74	97.93	79.81	63.42	51.36	1360.40
2002	272.98	154.15	93.55	78.84	34.81	5.64	1.51	8.15	21.73	16.63	138.41	164.28	990.67
2003	254.22	277.96	170.76	44.70	6.80	11.21	8.85	36.26	42.92	61.15	1.61	32.04	948.48
2004	154.99	178.61	125.03	113.37	12.82	12.45	7.19	3.56	59.79	38.44	75.89	23.27	805.40
2005	166.36	114.98	193.12	41.97	3.78	18.91	3.75	23.51	37.35	62.03	80.90	115.74	862.40
2006	210.41	256.85	174.27	48.14	3.41	4.72	3.09	15.35	110.35	128.58	66.51	30.16	1051.85
2007	247.08	122.52	107.07	113.46	5.74	44.81	38.27	16.88	3.79	52.65	119.96	167.29	1039.51
2008	196.09	283.79	26.30	163.98	7.08	2.00	26.64	37.03	56.81	27.94	105.97	60.92	994.54
2009	256.34	180.21	229.62	14.12	6.36	50.46	18.25	29.02	89.00	68.84	29.44	76.96	1048.63
2010	247.51	259.14	267.79	109.13	15.02	35.86	4.90	16.55	91.83	94.92	6.94	91.54	1241.14
2011	196.06	294.98	189.83	70.47	14.29	32.99	16.39	12.71	29.79	91.64	15.42	27.19	991.76
2012	283.29	338.82	92.31	90.88	9.41	34.27	29.26	15.54	39.65	49.57	86.40	64.08	1133.47
2013	281.93	232.44	148.46	60.54	18.55	22.32	20.90	5.66	27.55	97.59	38.68	96.39	1051.01
2014	324.75	254.70	115.82	91.83	16.27	6.25	16.76	25.24	83.31	112.74	8.94	39.65	1096.26
2015	167.00	134.85	87.42	4.86	1.06	23.49	2.15	38.28	39.97	73.61	80.26	140.10	793.06
2016	161.53	174.17	79.76	8.66	19.85	1.87	24.73	0.65	30.76	116.34	1.25	151.83	771.41
2017	293.25	163.29	103.07	103.94	2.74	8.78	7.00	26.17	32.82	47.58	86.04	145.32	1020.01
2018	246.21	185.58	48.08	28.82	4.50	75.49	12.53	53.65	10.11	65.74	68.38	200.79	999.89
2019	336.79	210.71	171.23	64.58	11.09	14.71	2.94	20.21	46.69	119.59	42.55	128.45	1169.54
2020	276.29	190.94	250.25	38.83	15.18	25.02	13.18	17.47	57.41	66.18	53.85	24.19	1028.78
PROM.	227.94	201.84	160.69	69.41	16.70	20.73	12.55	23.94	39.22	71.81	81.71	107.94	1034.47

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Precipitación en la estación areal Alfallacocha [mm]

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	154.23	160.99	148.95	25.44	0.00	0.00	0.00	0.00	64.94	44.56	77.93	44.02	721.05
1965	169.40	272.58	177.33	70.90	7.22	9.02	24.17	0.00	3.37	0.00	2.53	155.87	892.38
1966	133.32	185.81	143.96	9.92	71.62	0.00	0.00	13.71	41.49	171.56	163.26	81.72	1016.37
1967	214.86	289.36	444.69	49.79	11.55	1.44	24.35	20.57	37.16	120.87	27.24	110.95	1352.82
1968	251.84	138.55	196.09	18.22	15.51	2.16	23.45	17.86	25.62	72.70	155.14	70.54	987.69
1969	149.73	154.42	189.96	124.12	0.72	16.96	2.16	12.81	4.87	92.36	96.51	159.29	1003.93
1970	276.91	120.87	143.42	69.81	15.15	4.87	27.06	0.00	57.19	128.44	71.08	163.62	1078.43
1971	196.64	295.86	160.92	73.96	7.04	30.31	0.36	4.69	3.97	54.48	73.60	86.41	988.23
1972	358.82	230.19	180.40	45.10	3.97	0.00	40.95	33.55	29.22	61.16	99.22	158.03	1240.61
1973	226.04	364.95	216.66	124.30	19.48	0.00	19.48	46.72	48.53	39.33	184.01	149.01	1438.51
1974	274.75	320.93	196.82	93.81	0.00	21.47	7.04	64.22	3.43	59.53	123.21	51.23	1216.44
1975	99.04	180.58	178.05	15.69	55.56	20.57	3.07	18.58	27.78	79.38	125.38	256.71	1060.39
1976	279.08	237.41	262.12	96.33	19.30	37.70	5.59	38.06	99.22	26.34	11.18	174.09	1286.43
1977	105.35	190.50	178.05	9.02	6.31	0.72	20.57	0.00	50.51	48.89	193.39	172.28	975.60
1978	310.11	107.70	155.50	33.37	55.92	0.00	2.89	0.72	58.45	113.29	151.54	131.69	1121.19
1979	161.82	221.53	247.15	122.31	14.79	2.53	5.05	12.45	71.08	92.92	96.14	126.83	1174.59
1980	182.02	164.89	136.02	4.51	1.62	0.00	25.80	0.00	18.32	89.66	73.78	43.84	740.46
1981	256.35	260.14	138.91	89.30	6.13	0.90	9.20	32.47	52.50	103.01	137.10	238.85	1324.86
1982	293.16	273.71	207.44	88.27	16.02	62.41	10.84	9.77	48.94	8.35	192.01	178.46	1389.38
1983	360.81	219.43	57.78	138.41	38.00	35.67	18.97	15.10	78.10	83.16	53.32	113.48	1212.22
1984	216.41	117.50	131.66	58.16	20.95	19.01	16.33	60.62	18.40	120.88	205.43	162.89	1148.24
1985	191.48	196.75	93.16	111.48	27.05	26.91	7.75	33.36	101.11	42.81	1.87	57.81	891.54
1986	152.24	154.74	153.58	70.93	18.88	14.49	0.06	40.04	40.74	73.87	106.63	59.43	885.63
1987	212.02	141.92	92.85	39.57	36.77	28.12	37.70	14.10	0.00	92.61	145.19	193.56	1034.39
1988	346.61	353.62	239.36	131.88	27.64	7.56	6.86	0.00	4.28	82.04	52.32	113.64	1365.80
1989	193.12	246.99	143.96	23.68	1.42	18.07	0.00	29.29	2.88	107.57	87.24	115.75	969.96
1990	316.00	268.34	185.85	106.63	35.13	65.51	8.02	36.77	17.37	144.72	202.90	256.18	1643.42
1991	300.12	294.04	220.20	120.84	33.49	7.61	0.00	0.00	19.94	47.82	74.39	38.40	1156.85
1992	215.53	186.78	86.30	43.78	0.00	72.52	0.00	111.54	0.00	101.49	56.16	116.21	990.31
1993	295.44	215.29	181.64	114.58	11.30	0.00	25.32	18.27	51.38	74.36	71.24	54.52	1113.32
1994	185.66	160.63	275.63	10.67	11.83	24.87	19.70	42.12	23.57	78.67	59.68	116.12	1009.15
1995	244.36	155.17	107.42	144.81	21.94	15.78	19.39	32.08	20.36	124.76	22.29	144.93	1053.29
1996	323.13	191.66	239.70	10.80	21.77	65.17	28.42	32.02	21.59	81.26	33.89	169.55	1218.96
1997	284.71	190.79	116.36	84.93	21.51	58.74	11.81	16.94	7.13	27.89	171.53	28.74	1021.08
1998	152.32	178.11	86.62	95.16	21.51	53.52	2.27	40.06	99.10	14.65	133.74	110.18	987.23
1999	308.33	192.03	151.01	93.57	19.26	30.94	7.37	69.30	22.66	3.70	108.69	112.48	1119.34
2000	274.89	154.38	261.36	136.90	47.69	37.45	19.70	38.56	30.46	83.01	72.36	84.20	1240.96
2001	299.41	193.56	379.70	137.25	47.23	6.01	5.13	68.94	104.29	84.99	67.54	54.70	1448.74
2002	290.71	164.15	99.62	83.96	37.07	6.00	1.61	8.67	23.14	17.71	147.40	174.94	1055.00
2003	270.73	296.01	181.85	47.61	7.24	11.94	9.42	38.62	45.70	65.12	1.71	34.12	1010.07
2004	165.05	190.21	133.15	120.73	13.65	13.26	7.66	3.79	63.67	40.94	80.82	24.78	857.70
2005	177.17	122.45	205.66	44.70	4.03	20.13	3.99	25.04	39.77	66.06	86.15	123.25	918.40
2006	224.08	273.53	185.59	51.27	3.64	5.02	3.29	16.34	117.52	136.93	70.83	32.12	1120.15
2007	263.12	130.48	114.02	120.83	6.11	47.72	40.76	17.98	4.04	56.07	127.75	178.15	1107.01
2008	208.82	302.22	28.01	174.63	7.54	2.13	28.37	39.43	60.50	29.75	112.85	64.88	1059.13
2009	272.98	191.92	244.53	15.04	6.78	53.74	19.43	30.91	94.78	73.31	31.35	81.96	1116.72
2010	263.58	275.97	285.18	116.21	16.00	38.19	5.21	17.62	97.80	101.08	7.39	97.48	1321.73
2011	208.79	314.13	202.16	75.04	15.22	35.14	17.45	13.54	31.73	97.59	16.42	28.96	1056.16
2012	301.69	360.82	98.30	96.78	10.02	36.50	31.16	16.55	42.23	52.79	92.01	68.24	1207.08
2013	300.24	247.53	158.10	64.47	19.75	23.77	22.25	6.03	29.34	103.92	41.19	102.65	1119.26
2014	345.84	271.24	123.34	97.79	17.33	6.65	17.84	26.88	88.72	120.06	9.52	42.22	1167.44
2015	177.85	143.60	93.10	5.17	1.13	25.01	2.29	40.77	42.57	78.39	85.47	149.20	844.55
2016	172.02	185.48	84.94	9.22	21.14	2.00	26.34	0.69	32.76	123.90	1.33	161.69	821.50
2017	312.29	173.90	109.76	110.69	2.92	9.35	7.46	27.87	34.96	50.67	91.63	154.75	1086.24
2018	262.20	197.63	51.20	30.69	4.79	80.39	13.34	57.14	10.77	70.01	72.82	213.83	1064.81
2019	358.66	224.39	182.35	68.77	11.81	15.66	3.14	21.52	49.73	127.35	45.31	136.79	1245.48
2020	294.23	203.34	266.50	41.35	16.17	26.65	14.04	18.60	61.13	70.48	57.34	25.76	1095.59
PROM.	242.74	214.94	171.12	73.91	17.78	22.07	13.37	25.50	41.77	76.48	87.02	114.95	1101.65

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Precipitación en la estación areal Allcoccocha [mm]

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	153.80	160.54	148.54	25.37	0.00	0.00	0.00	0.00	64.76	44.44	77.72	43.90	719.06
1965	168.93	271.83	176.84	70.70	7.20	9.00	24.11	0.00	3.36	0.00	2.52	155.43	889.91
1966	132.95	185.30	143.56	9.89	71.42	0.00	0.00	13.67	41.38	171.08	162.81	81.49	1013.56
1967	214.26	288.56	443.45	49.65	11.51	1.44	24.29	20.51	37.06	120.53	27.16	110.64	1349.07
1968	251.14	138.16	195.55	18.17	15.47	2.16	23.39	17.81	25.55	72.50	154.71	70.34	984.95
1969	149.32	153.99	189.43	123.77	0.72	16.91	2.16	12.77	4.86	92.11	96.25	158.85	1001.14
1970	276.15	120.53	143.02	69.62	15.11	4.86	26.99	0.00	57.03	128.09	70.88	163.17	1075.44
1971	196.09	295.04	160.47	73.76	7.02	30.22	0.36	4.68	3.96	54.33	73.40	86.17	985.49
1972	357.82	229.55	179.90	44.98	3.96	0.00	40.84	33.46	29.14	60.99	98.95	157.59	1237.17
1973	225.41	363.94	216.06	123.95	19.43	0.00	19.43	46.59	48.39	39.22	183.50	148.60	1434.52
1974	273.99	320.04	196.27	93.55	0.00	21.41	7.02	64.04	3.42	59.37	122.87	51.09	1213.07
1975	98.77	180.08	177.56	15.65	55.41	20.51	3.06	18.53	27.70	79.16	125.03	256.00	1057.45
1976	278.31	236.75	261.39	96.07	19.25	37.60	5.58	37.96	98.95	26.27	11.15	173.60	1282.87
1977	105.06	189.97	177.56	9.00	6.30	0.72	20.51	0.00	50.37	48.75	192.85	171.80	972.90
1978	309.25	107.40	155.07	33.28	55.77	0.00	2.88	0.72	58.29	112.98	151.12	131.33	1118.08
1979	161.37	220.92	246.46	121.97	14.75	2.52	5.04	12.41	70.88	92.66	95.87	126.47	1171.33
1980	181.52	164.43	135.64	4.50	1.62	0.00	25.73	0.00	18.27	89.41	73.58	43.72	738.41
1981	255.64	259.42	138.52	89.05	6.12	0.90	9.17	32.38	52.35	102.72	136.72	238.19	1321.19
1982	292.34	272.95	206.87	88.03	15.98	62.24	10.81	9.74	48.80	8.32	191.48	177.97	1385.53
1983	359.81	218.82	57.62	138.03	37.90	35.57	18.92	15.05	77.88	82.93	53.17	113.16	1208.86
1984	215.81	117.17	131.30	58.00	20.90	18.96	16.29	60.45	18.34	120.54	204.86	162.44	1145.06
1985	190.95	196.20	92.90	111.17	26.97	26.84	7.73	33.27	100.83	42.69	1.86	57.65	889.07
1986	151.82	154.31	153.15	70.73	18.83	14.45	0.06	39.93	40.62	73.67	106.34	59.27	883.17
1987	211.43	141.52	92.59	39.46	36.66	28.04	37.60	14.06	0.00	92.36	144.79	193.02	1031.52
1988	345.65	352.64	238.69	131.51	27.56	7.54	6.84	0.00	4.27	81.82	52.17	113.32	1362.01
1989	192.58	246.31	143.56	23.61	1.41	18.02	0.00	29.21	2.87	107.27	87.00	115.42	967.27
1990	315.12	267.59	185.33	106.34	35.03	65.32	8.00	36.66	17.32	144.32	202.34	255.47	1638.86
1991	299.29	293.23	219.59	120.51	33.40	7.59	0.00	0.00	19.89	47.68	74.18	38.29	1153.64
1992	214.93	186.26	86.06	43.65	0.00	72.32	0.00	111.23	0.00	101.21	56.00	115.89	987.56
1993	294.62	214.69	181.14	114.26	11.26	0.00	25.25	18.22	51.24	74.15	71.04	54.37	1110.24
1994	185.14	160.18	274.87	10.64	11.80	24.80	19.64	42.01	23.50	78.45	59.52	115.80	1006.35
1995	243.69	154.74	107.12	144.41	21.88	15.73	19.34	31.99	20.30	124.41	22.23	144.53	1050.37
1996	322.24	191.13	239.04	10.77	21.71	64.99	28.34	31.93	21.53	81.04	33.80	169.08	1215.58
1997	283.92	190.26	116.04	84.69	21.45	58.58	11.78	16.89	7.11	27.82	171.05	28.66	1018.25
1998	151.89	177.62	86.38	94.90	21.45	53.37	2.26	39.95	98.83	14.61	133.36	109.88	984.50
1999	307.48	191.50	150.59	93.31	19.21	30.85	7.35	69.11	22.60	3.69	108.39	112.16	1116.24
2000	274.13	153.95	260.63	136.52	47.56	37.34	19.65	38.45	30.38	82.78	72.16	83.96	1237.52
2001	298.58	193.02	378.65	136.87	47.10	5.99	5.12	68.75	104.00	84.76	67.35	54.54	1444.72
2002	289.90	163.70	99.35	83.72	36.97	5.99	1.60	8.65	23.08	17.66	146.99	174.46	1052.07
2003	269.98	295.19	181.35	47.47	7.22	11.91	9.40	38.51	45.58	64.94	1.71	34.02	1007.27
2004	164.59	189.69	132.78	120.40	13.61	13.22	7.64	3.78	63.49	40.82	80.59	24.71	855.33
2005	176.68	122.11	205.09	44.57	4.02	20.08	3.98	24.97	39.66	65.88	85.91	122.91	915.85
2006	223.45	272.78	185.07	51.12	3.63	5.01	3.29	16.30	117.19	136.55	70.63	32.03	1117.05
2007	262.39	130.11	113.70	120.49	6.10	47.58	40.64	17.93	4.03	55.92	127.39	177.66	1103.94
2008	208.24	301.38	27.93	174.14	7.52	2.13	28.30	39.32	60.33	29.67	112.54	64.70	1056.19
2009	272.23	191.38	243.86	15.00	6.76	53.59	19.38	30.82	94.52	73.11	31.26	81.73	1113.63
2010	262.85	275.21	284.39	115.89	15.96	38.09	5.20	17.57	97.53	100.80	7.37	97.21	1318.07
2011	208.21	313.26	201.60	74.83	15.18	35.04	17.40	13.50	31.64	97.32	16.38	28.88	1053.23
2012	300.85	359.82	98.03	96.52	9.99	36.40	31.07	16.50	42.11	52.64	91.76	68.05	1203.73
2013	299.41	246.85	157.66	64.29	19.70	23.71	22.19	6.01	29.26	103.64	41.08	102.37	1116.15
2014	344.88	270.49	123.00	97.52	17.28	6.63	17.80	26.81	88.47	119.73	9.49	42.11	1164.21
2015	177.36	143.20	92.84	5.16	1.13	24.94	2.28	40.66	42.45	78.17	85.24	148.79	842.21
2016	171.55	184.97	84.71	9.20	21.08	1.99	26.26	0.69	32.67	123.55	1.33	161.24	819.22
2017	311.42	173.41	109.46	110.39	2.91	9.32	7.44	27.79	34.86	50.53	91.37	154.32	1083.23
2018	261.47	197.08	51.06	30.60	4.78	80.17	13.30	56.98	10.74	69.82	72.62	213.24	1061.86
2019	357.67	223.77	181.84	68.58	11.78	15.62	3.13	21.46	49.59	127.00	45.19	136.41	1242.03
2020	293.41	202.78	265.76	41.23	16.12	26.57	14.00	18.55	60.97	70.28	57.19	25.69	1092.55
PROM.	242.07	214.35	170.65	73.71	17.73	22.01	13.33	25.43	41.65	76.27	86.78	114.63	1098.59

Fuente: Elaboración propia.

4.5 Evaluación de los volúmenes generados para el sistema Rontoccocha

Para la evaluación de los volúmenes generados se ha desarrollado la metodología presentada en las Figuras 9 y 10, el cual es un desarrollo del modelo de determinación de caudales de Lutz Scholz, quien ha desarrollado estudios para la sierra altoandina del Perú (Tarazona, N. 2005), y que para el empleo del modelo se tenido que obtener los datos y características geomorfológicos de las unidades hidrográficas de la zona de estudio, así como la determinación de los factores climáticos e hidrometereológicos y el empleo de un análisis de estadística estocástica para generar los caudales en periodos extendidos, calculándose a partir de los caudales los volúmenes de operación del sistema de almacenamiento (Bastidas, 2015).

4.5.1 Análisis estadístico y cartográfico de la zona de estudio.

a). Análisis espacial y cartográfico de la zona de estudio

El ámbito de estudio se encuentra al sur esta de la cuenca hidrográfica del río Mariño, que comprende las unidades hidrográficas de las lagunas existentes de Rontoccocha, Alfallaccocha y Alccoccocha que son parte del sistema hídrico de embalse Rontoccocha (ver Figura 110)

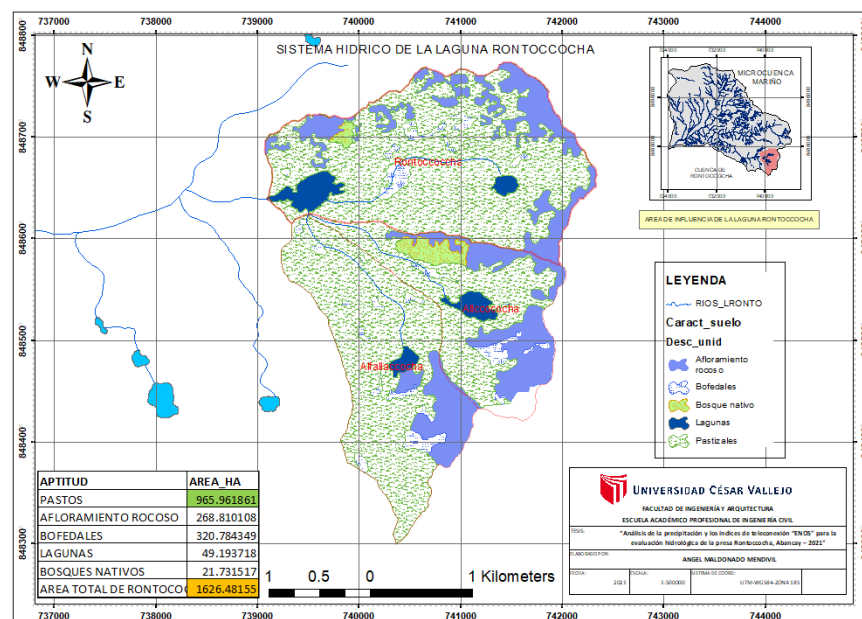


Figura 110. Ubicación de sistema de almacenamiento Rontoccocha.

Fuente: Elaboración propia.

Las características geomorfológicas del sistema de almacenamiento Rontoccocha se muestran en la Tabla 25 conformadas por las unidades hidrográficas de Alfallaccocha, Allccoccocha y Rontoccocha que conforman el sistema hídrico de la laguna Rontoccocha.

Tabla 25. Cuadro de las características geomorfológicas.

Unidad Hidrográfica	Área [Km ²]	Perímetro [Km]	Lc[m]	Cota [msnm]		Pendiente [%]
				Min	Max	
Alfallaccocha	6.080	8.458	850.00	4455	4520	0.08
Allccoccocha	1.408	7.705	520.00	4430	4570	0.27
Rontoccocha	1.585	9.214	2030.00	4252	4470	0.11
Total	9.073					

Fuente: Elaboración propia.

b). Análisis de la información hidrometereológica.

La información hidrometereológica en la zona de estudio se fue obtenido en las Tablas 22 al 24 donde se muestran los datos de precipitación en las estaciones areales para las unidades hidrográficas de estudio de Rontoccocha, Alfallaccocha y Allccoccocha como mostramos a continuación.

4.5.2 Aplicación de modelos determinísticos

Previo a la generación de caudales en el ámbito de estudio se ha calculado los parámetros requeridos por el modelo determinístico para obtener el caudal de año promedio con el cual se ha encontrado los coeficientes del modelo estocástico marcoviano de primer orden a través de una regresión lineal entre los caudales del año promedio y la precipitación efectiva (Tarazona, N. 2005), para ello se ha determinado los siguientes parámetros.

a) Cálculo de la precipitación media multianual

Se calculó la precipitación media multianual en cada unidad hidrográfica obteniéndose los siguientes resultados, la unidad hidrográfica de Rontoccocha 1026.8 mm, la unidad hidrográfica de Alfallaccocha 1101.6 mm y la unidad hidrográfica de Allccoccocha 1098.56 mm, la variación de la cantidad de lluvia se debe a la altitud, ya que está demostrado en muchos estudios que la cantidad de lluvia se incrementa a mayor altitud (msnm) (Bastidas, 2015) y (Silva Vidal et al 2010).

b) Cálculo de la evapotranspiración potencial.

Para la determinación de la evapotranspiración potencial se utilizó el método de Hargreaves para ello se recopiló la siguiente información climática:

Temperatura máxima media mensual

En la Tabla 26 se muestra la recopilación de la temperatura máxima media mensual para las estaciones disponibles cercanas a la ubicación del proyecto, así también se muestra los parámetros de correlación para extrapolar los datos de la temperatura máxima media mensual en el punto de interés o estudio.

Tabla 26. Cuadro de temperatura máxima media mensual

ESTACIONES	ALTITUD [msnm]	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Media Anual [mm]
Abancay	2780	26.80	30.80	24.80	31.70	29.90	29.00	30.00	25.40	32.00	31.00	32.00	31.80	29.60
Antabamba	3639	22.40	21.20	20.10	25.60	23.00	23.60	23.00	24.00	26.80	27.00	27.70	24.50	24.08
Chalhuanca	3558	27.00	23.60	25.00	26.50	27.00	23.90	23.80	25.40	25.60	26.90	27.90	25.00	25.63
Chalhuanca II	2850	28.70	26.60	27.40	27.20	27.80	27.00	27.00	27.60	31.20	31.20	32.60	32.20	28.88
Curahuasi	2741	31.60	29.00	30.40	29.80	30.20	30.40	31.60	33.20	34.00	36.60	29.80	34.80	31.78
	a	-0.0057	-0.0082	-0.0065	-0.0046	-0.0056	-0.0064	-0.0079	-0.0053	-0.0077	-0.0076	-0.0043	-0.0102	
	b	45.01	51.62	45.77	42.38	45.14	46.79	51.57	43.69	53.91	54.34	43.42	61.38	
	r	-0.76	-0.93	-0.76	-0.81	-0.87	-0.95	-0.93	-0.65	-0.96	-0.86	-0.85	-0.98	
Rontoccocha	4200	21.12	17.38	18.48	23.20	21.45	19.80	18.53	21.34	21.55	22.24	25.32	18.59	20.75
Allcocochoa	4490	19.47	15.02	16.60	21.88	19.82	17.93	16.25	19.79	19.32	20.02	24.07	15.64	18.82
Alfalloccochoa	4475	19.55	15.14	16.70	21.94	19.90	18.03	16.37	19.87	19.43	20.13	24.13	15.79	18.92

Fuente: SENAMHI (2020).

Temperatura mínima media mensual

En la Tabla 27 se muestra la recopilación de la temperatura mínima media mensual para las estaciones disponibles cercanas a la ubicación del proyecto, así también se muestra los parámetros de correlación para extrapolar los datos de la temperatura máxima media mensual en el punto de interés o estudio.

Tabla 27. Cuadro de temperatura mínima media mensual

ESTACIONES	ALTITUD [msnm]	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Media Anual [mm]
Abancay	2780	8.20	7.00	8.20	7.20	5.20	5.00	5.00	6.40	3.20	8.00	6.80	8.20	6.53
Antabamba	3639	0.00	-0.90	0.80	-2.70	-3.20	-4.90	-5.10	-2.50	-1.20	0.20	0.90	0.90	-1.48
Chalhuanca	3558	0.60	0.80	2.50	0.20	-2.60	-3.40	-2.00	-2.60	-0.20	-0.20	0.80	1.90	-0.35
Chalhuanca II	2850	4.60	4.80	2.90	0.40	-2.40	-4.60	-4.00	-1.80	-2.40	2.00	-1.60	4.60	0.21
Curahuasi	2741	7.20	4.20	6.40	0.00	-1.00	-2.00	-0.30	1.00	2.00	5.00	7.20	6.00	2.98
	a	-0.0080	-0.0067	-0.0055	-0.0048	-0.0045	-0.0048	-0.0051	-0.0057	-0.0024	-0.0064	-0.0047	-0.0061	
	b	29.10	23.92	21.25	16.08	13.20	12.92	14.70	17.77	7.74	22.80	17.35	23.42	
	r	-0.96	-0.93	-0.80	-0.59	-0.58	-0.52	-0.58	-0.66	-0.46	-0.82	-0.53	-0.92	
Rontoccocha	4200	-4.60	-4.06	-1.80	-4.24	-5.68	-7.18	-6.86	-6.07	-2.32	-3.91	-2.25	-2.35	-4.28
Allcocochoa	4490	-6.92	-5.99	-3.39	-5.64	-6.99	-8.57	-8.34	-7.71	-3.02	-5.75	-3.60	-4.13	-5.84
Alfalloccochoa	4475	-6.80	-5.89	-3.31	-5.57	-6.92	-8.50	-8.27	-7.63	-2.98	-5.66	-3.53	-4.03	-5.76

Fuente: SENAMHI (2020)..

Temperatura media mensual

En la Tabla 28 se muestra la recopilación de la temperatura media mensual para las estaciones disponibles cercanas a la ubicación del proyecto, así también se muestra los parámetros de correlación para extrapolar los datos de la temperatura máxima media mensual en el punto de interés o estudio.

Tabla 28. Cuadro de temperatura media mensual

ESTACIONES	ALTITUD [msnm]	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Media Anual [mm]
Abancay	2780	17.50	18.90	16.50	19.45	17.55	17.00	17.50	15.90	17.60	19.50	19.40	20.00	18.07
Antabamba	3639	11.20	10.15	10.45	11.45	9.90	9.35	8.95	10.75	12.80	13.60	14.30	12.70	11.30
Chalhuanca	3558	13.80	12.20	13.75	13.35	12.20	10.25	10.90	11.40	12.70	13.35	14.35	13.45	12.64
Chalhuanca II	2850	16.65	15.70	15.15	13.80	12.70	11.20	11.50	12.90	14.40	16.60	15.50	18.40	14.54
Curahuasi	2741	19.40	16.60	18.40	14.90	14.60	14.20	15.65	17.10	18.00	20.80	18.50	20.40	17.38
	a	-0.0069	-0.0074	-0.0060	-0.0047	-0.0051	-0.0056	-0.0065	-0.0055	-0.0050	-0.0070	-0.0045	-0.0082	
	b	37.06	37.77	33.51	29.23	29.17	29.86	33.13	30.73	30.82	38.57	30.39	42.40	
	r	-0.95	-0.94	-0.89	-0.70	-0.79	-0.79	-0.82	-0.88	-0.88	-0.92	-0.84	-0.99	
Rontoccocha	4200	8.26	6.66	8.34	9.48	7.88	6.31	5.84	7.64	9.61	9.16	11.53	8.12	8.24
Allcoccocha	4490	6.27	4.52	6.60	8.12	6.42	4.68	3.96	6.04	8.15	7.13	10.23	5.76	6.49
Allfallaccocha	4475	6.38	4.63	6.69	8.19	6.49	4.77	4.05	6.12	8.23	7.24	10.30	5.88	6.58

Fuente: SENAMHI (2020).

Velocidad media mensual

En la Tabla 29 se muestra la recopilación de la velocidad media mensual para las estaciones disponibles cercanas a la ubicación del proyecto.

Tabla 29. Cuadro de la velocidad media mensual

ESTACIONES	ALTITUD [msnm]	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Media Anual [m/s]
Abancay	2780	2.70	2.50	2.50	2.80	2.70	2.40	2.50	2.80	3.10	3.20	3.00	3.20	2.78
Antabamba	3639	9.30	8.10	7.70	7.60	8.70	9.10	11.20	10.70	8.70	7.20	7.00	6.00	8.44
Chalhuanca	3558	4.40	4.30	4.20	4.30	4.30	4.30	4.50	4.80	4.50	4.60	4.70	4.80	4.48
Chalhuanca II	2850	2.70	2.50	2.50	2.80	2.70	2.40	2.50	2.80	3.10	3.20	3.00	3.20	2.78

Fuente: SENAMHI (2020).

Número de horas de sol media mensual

En la Tabla 30 se muestra la recopilación del numero de horas del sol para las estaciones disponibles cercanas a la ubicación del proyecto.

Tabla 30. Número de horas de sol media mensual.

ESTACIONES	ALTITUD [msnm]	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Media Anual [hrs]
Abancay	2780	138.40	132.30	156.20	189.60	222.90	221.00	221.50	220.80	205.10	220.00	204.10	158.60	190.88
Curahuasi	2741	169.10	157.80	163.80	186.80	203.20	183.90	190.00	217.50	215.20	214.40	220.70	178.30	191.73

Fuente: SENAMHI (2020).

Tabla 31. Cálculo de la evapotranspiración por el método de Hargreaves

CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL Eto

METODO DE HARGREAVES

Ubicación: Latitud: 13.60 °
 Longitud: 72.86 °
 Altitud: 2780 m.s.n.m.

DESCRIPCION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
N° de días del mes	31.00	28.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00	31.00	30.00	31.00	30.00	31.00
Horas de sol observadas (n) Estacion Abancay	4.46	4.73	5.04	6.32	7.19	7.37	7.15	7.12	6.84	7.10	6.80	5.12
Insolación máxima diaria (N)	12.68	12.40	12.10	11.70	11.40	11.22	11.24	11.52	11.90	12.30	12.68	12.78
S= (n/N) X100 [%]	35.21	38.10	41.64	54.02	63.07	65.66	63.57	61.83	57.45	57.70	53.65	40.03
Radiación extraterrestre diaria (Ra) [mm/día]	16.53	16.20	15.32	13.68	12.06	11.17	11.47	12.84	14.56	15.79	16.38	16.52
Radiación media mensual (RMM) [mm/mes]	512.46	453.71	474.99	410.43	374.00	335.24	355.52	398.04	436.89	489.42	491.28	512.21
Radiación solar mensual (RSM) [mm/mes]	228.06	210.06	229.89	226.24	222.77	203.73	212.60	234.74	248.36	278.82	269.89	243.06
Temperatura media mensual [°C]	17.50	18.90	16.50	19.45	17.55	17.00	17.50	15.90	17.60	19.50	19.40	20.00
Temperatura media mensual [°F]	63.50	66.02	61.70	67.01	63.59	62.60	63.50	60.62	63.68	67.10	66.92	68.00
Factor de altitud [Km]	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
Eto [mm/mes]	126.73	121.36	124.12	132.67	123.97	111.61	118.14	124.53	138.40	163.72	158.05	144.64
Eto [mm/día]	3.81	4.02	4.61	5.28	5.27	4.67	4.09	4.33	4.00	4.42	4.00	3.72

$$RSM = 0.075 \times RMM \times S^{(1/2)}$$

$$Eto = 0.0075 \times RSM \times F_x F_A$$

$$^{\circ}F = (^{\circ}C \times 9/5) + 32$$

$$F_A = 1 + 0.06 \times \text{Altitud}(\text{Km})$$

Fuente: Elaboración propia.

Con la información climática se procedió a calcular la evapotranspiración potencia a partir de la estación metereológica Abancay II (Tabla 31) el mismo que representa a toda la zona del estudio.

c) Cálculo del coeficiente de escorrentía

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía se utilizó dos métodos como son el método de la misión alemana y el método de Turc (Tabla 32) donde se aprecia para las tres unidades hidrográficas de análisis.

Tabla 32. Coeficiente de escorrentía en la zona de estudio

Metodo de coeficiente de escorrentia	Rontoccocha	Alfallaccocha	Allcoccocha
Método de la Misión Alemana	0.53	0.60	0.60
Método de L - Turc	0.23	0.23	0.23

Fuente: Elaboración propia.

El coeficiente de escorrentía adoptado fue el de L-Turc debido a que los valores del método de la misión alemana son muy bajos y no representan al coeficiente de escorrentía en la zona de estudio.

d) Cálculo de la retención en la cuenca

Para determinar el gasto de retención en la cuenca se ha considerado las áreas de la capa freática, así como las áreas de los pantanos y espejos de agua aguas arriba de las lagunas (ver Tablas de 33 al 35). Rontoccocha, Alfallaccocha y Allcoccocha.

Tabla 33. Determinación de la retención para la laguna Rontoccocha

Descripcion	Area [Km2]	Lamina especifica [mm/año]	Volumen total [MMC]
Napa freatica	1.52	250	0.380
Lagunas y pantanos	0.061	500	0.030
Nevados	0.000	500	0.000
Total R	1.5808		0.410
R = Volumen Total (m3) = 67.50 mm/año			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34. Determinación de la retención para la laguna Alfallaccocha

Descripcion	Area [Km2]	Lamina especifica [mm/año]	Volumen total [MMC]
Napa freatica	0.4224	250	0.1056
Lagunas y pantanos	0.014	500	0.0070
Nevados	0.000	500	0.0000
Total R	0.43648		0.1126
R = Volumen Total (m3) = 80.00 mm/año			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35. Determinación de la retención para la laguna Alccoccocha

Descripcion	Area [Km2]	Lamina especifica [mm/año]	Volumen total [MMC]
Napa freatica	0.645	250	0.161
Lagunas y pantanos	0.0215	500	0.011
Nevados	0.000	500	0.000
Total R	0.6665		0.172
R = Volumen Total (m3) = 80.00 mm/año			

Fuente: Elaboración propia.

e) Cálculo de la precipitación efectiva y el caudal del año promedio

A partir de las características de las cuencas se procedió a calcular la precipitación efectiva utilizándose las curvas II y III por el método del según el Bureau of Reclamation (Tarazona, 2005), así como también se procedió a la determinación de los caudales para el año medio, a partir de las características generales de las cuencas de estudio (ver Tabla 36), obteniendo los resultados en las tablas 37 al 39.

Tabla 36. Características generales de las cuencas de estudio

Características generales de la cuenca		Rontoccocha	Alfallaccocha	Allccoccocha
Area de la cuenca: A	Km2	6.08	1.41	2.15
Altitud Media de la Microcuenca: H	msnm	4245	4245	4490
Pendiente Media de la Microcuenca	m/m	0.11	0.08	0.08
Precipitación Media Anual: P	mm	1026.8	1101.6	1098.59
Evaporación Total Anual: ETP	mm	1246.2	1246.2	1246.20
Temperatura Media Anual: T	°C	8.24	6.58	6.49
Déficit de Escurrimiento: D	mm/año	478.9	442.61	440.19
Coeficiente de Escorrentía: c		0.53	0.60	0.60
Coeficiente de Agotamiento: a		0.0255	0.0291	0.0281
Relación de Caudales (30 días): bo		0.466	0.417	0.431
Area de lagunas y acuíferos	Km2	0.18	0.042	0.10
Gasto Mensual de Retención: R	mm/año	65.0	80	80.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37. Caudales del año promedio para la laguna Rontoccocha

MES	N° días del mes	PRECIPITACION MENSUAL				CONTRIBUCION DE LA RETENCION				CAUDALES GENERADOS	
		P	Efectiva			Gasto		Abastecimiento		[mm/mes]	[m3/s]
		Total [mm/mes]	PE II [mm/mes]	PE III [mm/mes]	PE [mm/mes]	bi [mm/mes]	Gi [mm/mes]	ai [mm/mes]	Ai [mm/mes]		
Enero	30	227.9	58.20	115.71	110.1			0.400	26.0	84.1	0.197
Febrero	28	200.5	57.53	151.23	142.1			0.200	13.0	149.3	0.375
Marzo	31	167.5	47.19	143.09	133.8			0.000	0.0	152.3	0.346
Abril	30	69.4	8.57	24.86	23.3	0.466	34.9			32.7	0.077
Mayo	31	16.7	1.77	3.97	3.8	0.217	16.3			6.2	0.014
Junio	30	20.7	2.12	4.73	4.5	0.101	7.6			7.5	0.018
Julio	31	12.6	1.38	3.13	3.0	0.047	3.5			4.8	0.011
Agosto	31	23.9	2.39	5.34	5.0	0.022	1.6			8.6	0.019
Setiem.	30	39.2	3.79	8.96	8.5	0.010	0.8			14.1	0.033
Octubre	31	71.8	9.13	26.79	25.1	0.005	0.4			34.7	0.079
Noviem.	30	81.7	11.69	35.79	33.5			0.050	3.3	41.0	0.096
Diciem.	31	107.9	20.71	66.87	62.4			0.350	22.8	53.6	0.122
AÑO		1040.0	224.5	590.5	555.0	0.869	65.0	1.000	65.0	588.8	0.116
Coeficientes		0.53	0.097	0.903	1.000						

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38. Caudales del año promedio para la laguna Alfallaccocha

MES	N° días del mes	PRECIPITACION MENSUAL				CONTRIBUCION DE LA RETENCION				CAUDALES GENERADOS	
		P		Efectiva		Gasto		Abastecimiento			
		Total	PE II	PE III	PE	bi	Gi	ai	Ai		
		[mm/mes]	[mm/mes]	[mm/mes]	[mm/mes]		[mm/mes]		[mm/mes]	[mm/mes]	[m3/s]
Enero	30	242.7	122.42	215.21	210.8			0.400	32.0	199.6	0.108
Febrero	28	214.9	95.86	172.04	168.4			0.200	16.0	172.6	0.100
Marzo	31	171.1	60.57	113.72	111.2			0.000	0.0	129.8	0.068
Abril	30	73.9	11.07	26.85	26.1	0.417	46.7			35.5	0.019
Mayo	31	17.8	0.57	3.37	3.2	0.174	19.5			5.7	0.003
Junio	30	22.1	0.90	4.47	4.3	0.073	8.1			7.3	0.004
Julio	31	13.4	0.30	2.35	2.2	0.030	3.4			4.1	0.002
Agosto	31	25.5	1.23	5.43	5.2	0.013	1.4			8.7	0.005
Setiem.	30	41.8	3.44	11.01	10.7	0.005	0.6			16.2	0.009
Octubre	31	76.5	11.87	28.39	27.6	0.002	0.2			37.3	0.020
Noviem.	30	87.0	15.43	35.14	34.2			0.050	4.0	41.0	0.022
Diciem.	31	114.9	27.13	56.37	55.0			0.350	28.0	40.9	0.022
AÑO		1101.6	350.8	674.4	659.0	0.714	80.0	1.000	80.0	698.7	0.032
Coeficientes		0.60	0.047	0.953	1.000						

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39. Caudales del año promedio para la laguna Allccoccocha

MES	N° días del mes	PRECIPITACION MENSUAL				CONTRIBUCION DE LA RETENCION				CAUDALES GENERADOS	
		P		Efectiva		Gasto		Abastecimiento		[mm/mes]	[m3/s]
		Total	PE II	PE III	PE	bi	Gi	ai	Ai		
		[mm/mes]	[mm/mes]	[mm/mes]	[mm/mes]		[mm/mes]		[mm/mes]		
Enero	30	242.1	54.45	77.44	83.6			0.400	32.0	72.4	0.060
Febrero	28	214.3	59.03	139.15	160.7			0.200	16.0	164.8	0.146
Marzo	31	170.6	48.46	145.60	171.7			0.000	0.0	190.3	0.153
Abril	30	73.7	9.58	28.38	33.4	0.431	45.7			42.8	0.036
Mayo	31	17.7	1.86	4.16	4.8	0.186	19.7			7.2	0.006
Junio	30	22.0	2.23	4.97	5.7	0.080	8.5			8.8	0.007
Julio	31	13.3	1.46	3.29	3.8	0.034	3.7			5.6	0.005
Agosto	31	25.4	2.51	5.62	6.5	0.015	1.6			10.0	0.008
Setiem.	30	41.7	4.05	9.74	11.3	0.006	0.7			16.9	0.014
Octubre	31	76.3	10.22	30.63	36.1	0.003	0.3			45.8	0.037
Noviem.	30	86.8	13.19	41.03	48.5			0.050	4.0	55.3	0.046
Diciem.	31	114.6	23.46	76.01	90.1			0.350	28.0	76.1	0.061
AÑO		1098.6	230.5	566.0	656.2	0.755	80.0	1.000	80.0	695.9	0.048
Coeficientes		0.60	-0.269	1.269	1.000						

Fuente: Elaboración propia.

Con las tablas de caudales del año promedio obtenemos las relaciones de correspondencia entre la precipitación efectiva y los caudales obtenidos para el año medio a partir del balance hídrico en la cuenca se pudo relacionar la precipitación efectiva con los caudales calculados (ver Tabla 40), generando así ecuación estocástica con los coeficientes de dicha ecuación calculados a partir de una regresión lineal múltiple (Bastidas, 2015).

4.5.3 Generación de caudales para un periodo extendido.

a) Generación de caudales con el modelo Markoviano de primer orden

Para obtener la generación de caudales se determinó los coeficientes de correlación para el año promedio (Tabla 40) a través de una correlación lineal múltiple (ver Tabla 41), entre los valores de la precipitación efectiva y los caudales calculados para el año promedio en cada cuenca hidrográfica de análisis.

Tabla 40. Relación entre la precipitación efectiva y los caudales

Rontoccocha			Alfallaccocha			Allccoccocha		
Qt	Qt-1	PE	Qt	Qt-1	PE	Qt	Qt-1	PE
84.1	53.6	110.1	199.6	40.9	210.8	72.4	76.1	83.6
149.3	84.1	142.1	172.6	199.6	168.4	164.8	72.4	160.7
152.3	149.3	133.8	129.8	172.6	111.2	190.3	164.8	171.7
32.7	152.3	23.3	35.5	129.8	26.1	42.8	190.3	33.4
6.2	32.7	3.8	5.7	35.5	3.2	7.2	42.8	4.8
7.5	6.2	4.5	7.3	5.7	4.3	8.8	7.2	5.7
4.8	7.5	3.0	4.1	7.3	2.2	5.6	8.8	3.8
8.6	4.8	5.0	8.7	4.1	5.2	10.0	5.6	6.5
14.1	8.6	8.5	16.2	8.7	10.7	16.9	10.0	11.3
34.7	14.1	25.1	37.3	16.2	27.6	45.8	16.9	36.1
41.0	34.7	33.5	41.0	37.3	34.2	55.3	45.8	48.5
53.6	41.0	62.4	40.9	41.0	55.0	76.1	55.3	90.1

Fuente: Elaboración propia.

Cuyos resultados de la correlación múltiple mostramos a continuación

Tabla 41. Resultados de regresión lineal múltiple (Rontoccocha)

Resultado de la regresión Resumen

Estadísticas de la regresión

Coefficiente de	0.98275
Coefficiente de	0.965798
R ² ajustado	0.958198
Error típico	10.83314
Observaciones	12

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media cuadrada	F	Valor crítico de F
Regresión	2	29825.75	14913	127.07	3E-07
Residuos	9	1056.211	117.36		
Total	11	30881.96			

	Coefficiente	Error típico	Estadístico t	Probabilidad > t	Valor crítico de t superior 95.0%	Valor crítico de t inferior 95.0%
Intercepción	1.292514	4.540476	0.2847	0.7823	-8.9788	11.56378
Variable X 1	0.119146	0.076946	1.5484	0.1559	-0.0549	0.29321
Variable X 2	0.906682	0.076936	11.785	9E-07	0.7326	1.080724

Fuente: Elaboración propia

Obteniendo con los coeficientes de regresión lineal la ecuación del modelo Markoviano estocástico propuesto para la generación de caudales de Lutz Sholz cuya ecuación general es la siguiente:

$$Q_t = b_1 + b_2 \cdot Q_{(t-1)} + b_3 \cdot PE_t + z \cdot S \cdot \sqrt{(1 - R^2)}$$

Donde Q_t es el caudal del mes actual, Q_{t-1} es el caudal del mes anterior, b_1 , b_2 , b_3 con coeficientes de la correlación múltiple, PE_t es la precipitación efectiva del mes actual, z es una variable aleatoria, S es el error típico y R es el coeficiente de correlación.

Realizada la correlación se obtuvo las siguientes ecuaciones para la generación de caudales en:

Unidad hidrográfica Rontoccocha

$$Q_t = 1.292 + 0.119Q_{(t-1)} + 0.906 \cdot PE_t + z \cdot 10.83314 \cdot \sqrt{(1 - 0.9827^2)}$$

Unidad hidrográfica Alfallaccocha

$$Q_t = 2.321 + 0.098 \cdot Q_{(t-1)} + 0.913 \cdot PE_t + z \cdot 7.07059 \cdot \sqrt{(1 - 0.9956^2)}$$

Unidad hidrográfica Allccoccocha

$$Q_t = 1.0042 + 0.055 \cdot Q_{(t-1)} + 0.983 \cdot PE_t + z \cdot 9.11114 \cdot \sqrt{(1 - 0.9909^2)}$$

Con los que se generaron los caudales.

En las tablas 42 al 44 se muestran los caudales generados para las cuencas de Rontoccocha, Alfallaccocha y Allccoccocha las mismas que mantienen las características estadísticas de los caudales del año promedio.

Tabla 42. Caudales generados en la estación areal Rontoccocha [m³/seg].

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	0.2141	0.2581	0.2139	0.0311	0.0111	0.0067	0.0070	0.0111	0.0546	0.0372	0.0743	0.0419	0.961
1965	0.2242	0.4881	0.2964	0.0976	0.0146	0.0109	0.0061	0.0063	0.0068	0.0152	0.0071	0.1979	1.371
1966	0.1825	0.3010	0.2142	0.0285	0.0687	0.0209	0.0093	0.0034	0.0286	0.2342	0.2514	0.1101	1.453
1967	0.3207	0.5332	0.8006	0.1391	0.0120	0.0097	0.0099	0.0053	0.0202	0.1428	0.0230	0.1293	2.146
1968	0.3949	0.2438	0.3005	0.0424	0.0017	0.0010	0.0064	0.0067	0.0128	0.0614	0.2182	0.0785	1.368
1969	0.2089	0.2505	0.2886	0.1856	0.0230	0.0052	0.0080	0.0013	0.0065	0.0951	0.1153	0.2195	1.407
1970	0.4508	0.2110	0.1972	0.0843	0.0132	0.0015	0.0090	0.0108	0.0406	0.1546	0.0800	0.2232	1.476
1971	0.3006	0.5476	0.2698	0.1048	0.0118	0.0106	0.0054	0.0074	0.0125	0.0422	0.0725	0.0928	1.478
1972	0.5849	0.4461	0.2878	0.0615	0.0069	0.0074	0.0213	0.0171	0.0115	0.0450	0.1132	0.2136	1.816
1973	0.3521	0.6961	0.3831	0.1965	0.0260	0.0126	0.0081	0.0277	0.0337	0.0169	0.2580	0.2207	2.231
1974	0.4407	0.6181	0.3430	0.1374	0.0222	0.0027	0.0037	0.0593	0.0123	0.0447	0.1544	0.0526	1.891
1975	0.1079	0.2871	0.2691	0.0380	0.0387	0.0139	0.0098	0.0030	0.0050	0.0754	0.1610	0.4018	1.411
1976	0.4679	0.4464	0.4384	0.1524	0.0238	0.0207	0.0034	0.0179	0.1108	0.0236	0.0006	0.2350	1.941
1977	0.1458	0.3097	0.2758	0.0415	0.0070	0.0125	0.0088	0.0084	0.0328	0.0369	0.2826	0.2635	1.425
1978	0.5183	0.2022	0.2193	0.0402	0.0460	0.0128	0.0101	0.0103	0.0470	0.1364	0.2155	0.1813	1.639
1979	0.2337	0.3837	0.4060	0.1967	0.0256	0.0123	0.0097	0.0096	0.0649	0.0991	0.1125	0.1623	1.716
1980	0.2615	0.2744	0.1920	0.0299	0.0028	0.0072	0.0043	0.0133	0.0046	0.0869	0.0679	0.0340	0.979
1981	0.3853	0.4890	0.2290	0.1202	0.0137	0.0058	0.0054	0.0134	0.0332	0.1128	0.1841	0.3746	1.966
1982	0.4962	0.5221	0.3474	0.1323	0.0174	0.0494	0.0046	0.0059	0.0319	0.0041	0.2722	0.2716	2.155
1983	0.6104	0.4371	0.0906	0.1883	0.0434	0.0252	0.0070	0.0034	0.0762	0.0870	0.0499	0.1284	1.747
1984	0.3228	0.1868	0.1768	0.0562	0.0144	0.0067	0.0021	0.0478	0.0037	0.1374	0.3153	0.2445	1.514
1985	0.2939	0.3393	0.1253	0.1438	0.0321	0.0154	0.0093	0.0175	0.1112	0.0409	0.0061	0.0436	1.179
1986	0.1965	0.2499	0.2202	0.0913	0.0123	0.0049	0.0078	0.0222	0.0203	0.0659	0.1275	0.0675	1.086
1987	0.3079	0.2315	0.1166	0.0252	0.0213	0.0125	0.0175	0.0074	0.0114	0.1041	0.2015	0.2886	1.346
1988	0.5886	0.6998	0.4227	0.2176	0.0289	0.0064	0.0070	0.0124	0.0053	0.0757	0.0456	0.1359	2.246
1989	0.2853	0.4428	0.2312	0.0326	0.0099	0.0054	0.0126	0.0146	0.0120	0.1189	0.1022	0.1387	1.406
1990	0.5104	0.5127	0.3047	0.1580	0.0353	0.0516	0.0107	0.0166	0.0043	0.1849	0.3169	0.4202	2.526
1991	0.5127	0.5710	0.3782	0.1903	0.0381	0.0067	0.0115	0.0121	0.0055	0.0260	0.0741	0.0247	1.851
1992	0.3143	0.3201	0.1195	0.0381	0.0144	0.0681	0.0170	0.1271	0.0277	0.1030	0.0561	0.1410	1.346
1993	0.4750	0.3981	0.2883	0.1698	0.0233	0.0099	0.0087	0.0085	0.0352	0.0633	0.0705	0.0459	1.596
1994	0.2628	0.2679	0.4463	0.0536	0.0095	0.0136	0.0070	0.0244	0.0115	0.0684	0.0542	0.1275	1.347
1995	0.3747	0.2701	0.1409	0.2051	0.0247	0.0063	0.0071	0.0159	0.0055	0.1401	0.0218	0.1795	1.392
1996	0.5289	0.3582	0.3929	0.0511	0.0053	0.0541	0.0109	0.0126	0.0113	0.0782	0.0282	0.2312	1.763
1997	0.4606	0.3484	0.1706	0.1063	0.0185	0.0478	0.0085	0.0058	0.0061	0.0123	0.2348	0.0375	1.457
1998	0.2035	0.2932	0.1172	0.1134	0.0221	0.0419	0.0089	0.0263	0.1108	0.0143	0.1680	0.1415	1.261
1999	0.4952	0.3635	0.2334	0.1300	0.0289	0.0199	0.0078	0.0608	0.0185	0.0084	0.1286	0.1371	1.632
2000	0.4332	0.2737	0.4249	0.2214	0.0566	0.0252	0.0046	0.0242	0.0230	0.0741	0.0643	0.0870	1.712
2001	0.4750	0.3588	0.6548	0.2532	0.0567	0.0078	0.0078	0.0554	0.1239	0.0985	0.0694	0.0444	2.206
2002	0.4549	0.2969	0.1353	0.0987	0.0311	0.0080	0.0119	0.0097	0.0097	0.0081	0.1959	0.2579	1.518
2003	0.4394	0.5644	0.3096	0.0719	0.0104	0.0105	0.0027	0.0242	0.0332	0.0550	0.0109	0.0154	1.548
2004	0.2182	0.3141	0.1961	0.1660	0.0204	0.0068	0.0026	0.0075	0.0540	0.0244	0.0798	0.0193	1.109
2005	0.2465	0.1886	0.3117	0.0646	0.0083	0.0086	0.0044	0.0058	0.0296	0.0652	0.0963	0.1540	1.184
2006	0.3342	0.5041	0.3132	0.0809	0.0164	0.0007	0.0059	0.0015	0.1376	0.1857	0.0808	0.0215	1.683
2007	0.3927	0.2228	0.1492	0.1663	0.0237	0.0323	0.0296	0.0022	0.0017	0.0412	0.1591	0.2484	1.469
2008	0.3262	0.5616	0.0692	0.2492	0.0361	0.0054	0.0085	0.0186	0.0503	0.0148	0.1306	0.0673	1.538
2009	0.4243	0.3534	0.4018	0.0549	0.0140	0.0366	0.0086	0.0152	0.1022	0.0724	0.0198	0.0743	1.577
2010	0.4054	0.5200	0.4945	0.2003	0.0343	0.0258	0.0086	0.0030	0.1042	0.1137	0.0220	0.1001	2.032
2011	0.3045	0.5834	0.3486	0.1147	0.0125	0.0169	0.0068	0.0035	0.0188	0.1043	0.0208	0.0140	1.549
2012	0.4648	0.7054	0.1765	0.1224	0.0164	0.0208	0.0131	0.0084	0.0241	0.0405	0.1050	0.0687	1.766
2013	0.4736	0.4734	0.2546	0.0852	0.0165	0.0114	0.0143	0.0069	0.0092	0.1094	0.0385	0.1044	1.597
2014	0.5636	0.5282	0.2021	0.1319	0.0174	0.0071	0.0066	0.0126	0.0926	0.1513	0.0296	0.0280	1.771
2015	0.2490	0.2278	0.1211	0.0243	0.0115	0.0045	0.0040	0.0244	0.0286	0.0738	0.0964	0.1913	1.057
2016	0.2489	0.3085	0.1098	0.0142	0.0110	0.0082	0.0074	0.0071	0.0158	0.1432	0.0206	0.2112	1.106
2017	0.5110	0.3266	0.1623	0.1427	0.0211	0.0050	0.0072	0.0105	0.0126	0.0300	0.0967	0.2101	1.536
2018	0.4182	0.3682	0.0783	0.0212	0.0081	0.0800	0.0160	0.0453	0.0071	0.0596	0.0736	0.3145	1.490
2019	0.6124	0.4384	0.2973	0.0943	0.0118	0.0119	0.0071	0.0022	0.0341	0.1567	0.0500	0.1677	1.884
2020	0.4740	0.3780	0.4401	0.0708	0.0102	0.0112	0.0070	0.0016	0.0425	0.0635	0.0465	0.0099	1.555
PROM.	0.3773	0.3911	0.2737	0.1102	0.0213	0.0169	0.0087	0.0169	0.0351	0.0786	0.1083	0.1482	1.586

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43. Caudales generados en la estación areal Alfallaccocha [m³/seg].

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	0.0530	0.0651	0.0540	0.0079	0.0032	0.0027	0.0026	0.0029	0.0147	0.0090	0.0200	0.0096	0.245
1965	0.0580	0.1223	0.0723	0.0239	0.0036	0.0021	0.0025	0.0026	0.0022	0.0032	0.0023	0.0514	0.346
1966	0.0465	0.0765	0.0531	0.0066	0.0173	0.0047	0.0029	0.0015	0.0071	0.0593	0.0627	0.0265	0.365
1967	0.0807	0.1333	0.1979	0.0298	0.0035	0.0027	0.0028	0.0021	0.0057	0.0368	0.0065	0.0329	0.535
1968	0.0987	0.0595	0.0749	0.0094	0.0018	0.0018	0.0024	0.0019	0.0032	0.0169	0.0549	0.0207	0.346
1969	0.0512	0.0621	0.0722	0.0462	0.0063	0.0020	0.0023	0.0012	0.0019	0.0247	0.0295	0.0557	0.355
1970	0.1125	0.0520	0.0502	0.0213	0.0034	0.0014	0.0031	0.0029	0.0117	0.0403	0.0207	0.0568	0.376
1971	0.0754	0.1363	0.0659	0.0249	0.0034	0.0038	0.0025	0.0020	0.0025	0.0108	0.0188	0.0239	0.370
1972	0.1473	0.1101	0.0718	0.0149	0.0028	0.0027	0.0064	0.0050	0.0038	0.0127	0.0294	0.0549	0.462
1973	0.0885	0.1735	0.0942	0.0484	0.0063	0.0033	0.0022	0.0080	0.0095	0.0062	0.0666	0.0549	0.562
1974	0.1109	0.1532	0.0836	0.0341	0.0056	0.0022	0.0015	0.0145	0.0033	0.0123	0.0397	0.0132	0.474
1975	0.0282	0.0724	0.0676	0.0084	0.0111	0.0034	0.0024	0.0017	0.0029	0.0197	0.0414	0.1012	0.361
1976	0.1173	0.1106	0.1094	0.0377	0.0054	0.0060	0.0018	0.0056	0.0287	0.0057	0.0013	0.0599	0.489
1977	0.0359	0.0780	0.0685	0.0086	0.0021	0.0029	0.0024	0.0027	0.0095	0.0096	0.0716	0.0657	0.358
1978	0.1290	0.0482	0.0554	0.0099	0.0119	0.0037	0.0024	0.0027	0.0124	0.0345	0.0546	0.0459	0.411
1979	0.0587	0.0962	0.1014	0.0483	0.0059	0.0029	0.0021	0.0018	0.0170	0.0261	0.0293	0.0415	0.431
1980	0.0668	0.0687	0.0486	0.0067	0.0022	0.0027	0.0026	0.0031	0.0019	0.0233	0.0194	0.0090	0.255
1981	0.0979	0.1207	0.0551	0.0296	0.0039	0.0025	0.0016	0.0042	0.0101	0.0296	0.0474	0.0938	0.496
1982	0.1235	0.1297	0.0861	0.0323	0.0044	0.0138	0.0022	0.0016	0.0090	0.0019	0.0699	0.0681	0.543
1983	0.1527	0.1060	0.0210	0.0475	0.0102	0.0063	0.0023	0.0015	0.0198	0.0226	0.0128	0.0339	0.436
1984	0.0820	0.0471	0.0449	0.0158	0.0036	0.0022	0.0014	0.0127	0.0025	0.0362	0.0799	0.0618	0.390
1985	0.0735	0.0851	0.0318	0.0366	0.0069	0.0039	0.0020	0.0046	0.0292	0.0099	0.0028	0.0118	0.298
1986	0.0508	0.0622	0.0557	0.0224	0.0036	0.0017	0.0026	0.0063	0.0067	0.0178	0.0330	0.0158	0.279
1987	0.0782	0.0584	0.0296	0.0083	0.0060	0.0038	0.0056	0.0020	0.0030	0.0255	0.0510	0.0730	0.344
1988	0.1467	0.1736	0.1044	0.0530	0.0077	0.0021	0.0018	0.0030	0.0020	0.0204	0.0121	0.0345	0.561
1989	0.0717	0.1106	0.0563	0.0079	0.0029	0.0020	0.0030	0.0039	0.0026	0.0308	0.0262	0.0362	0.354
1990	0.1285	0.1275	0.0758	0.0390	0.0085	0.0149	0.0028	0.0053	0.0020	0.0470	0.0798	0.1047	0.636
1991	0.1277	0.1410	0.0930	0.0468	0.0089	0.0021	0.0029	0.0030	0.0021	0.0081	0.0191	0.0071	0.462
1992	0.0793	0.0806	0.0292	0.0100	0.0036	0.0178	0.0043	0.0327	0.0062	0.0281	0.0143	0.0358	0.342
1993	0.1191	0.0992	0.0717	0.0420	0.0053	0.0030	0.0029	0.0021	0.0098	0.0179	0.0186	0.0122	0.404
1994	0.0662	0.0667	0.1119	0.0123	0.0024	0.0032	0.0021	0.0068	0.0032	0.0190	0.0144	0.0348	0.343
1995	0.0949	0.0669	0.0361	0.0518	0.0066	0.0021	0.0021	0.0043	0.0022	0.0375	0.0059	0.0468	0.357
1996	0.1329	0.0889	0.0975	0.0111	0.0026	0.0147	0.0042	0.0043	0.0028	0.0204	0.0069	0.0584	0.445
1997	0.1159	0.0867	0.0421	0.0265	0.0046	0.0127	0.0024	0.0018	0.0017	0.0034	0.0605	0.0090	0.367
1998	0.0511	0.0736	0.0288	0.0292	0.0050	0.0110	0.0029	0.0066	0.0287	0.0039	0.0435	0.0359	0.320
1999	0.1248	0.0889	0.0574	0.0318	0.0054	0.0047	0.0020	0.0159	0.0042	0.0022	0.0327	0.0355	0.405
2000	0.1092	0.0679	0.1058	0.0550	0.0136	0.0068	0.0022	0.0061	0.0050	0.0207	0.0186	0.0229	0.434
2001	0.1195	0.0886	0.1629	0.0612	0.0138	0.0026	0.0020	0.0153	0.0319	0.0247	0.0179	0.0120	0.553
2002	0.1145	0.0734	0.0338	0.0252	0.0077	0.0023	0.0027	0.0019	0.0026	0.0020	0.0497	0.0647	0.381
2003	0.1101	0.1400	0.0757	0.0164	0.0028	0.0020	0.0013	0.0061	0.0086	0.0147	0.0035	0.0047	0.386
2004	0.0560	0.0797	0.0487	0.0421	0.0051	0.0019	0.0014	0.0020	0.0143	0.0073	0.0212	0.0047	0.284
2005	0.0619	0.0474	0.0782	0.0154	0.0028	0.0023	0.0018	0.0026	0.0069	0.0156	0.0244	0.0395	0.299
2006	0.0856	0.1258	0.0763	0.0179	0.0036	0.0015	0.0020	0.0014	0.0360	0.0467	0.0211	0.0059	0.424
2007	0.1005	0.0554	0.0380	0.0415	0.0054	0.0090	0.0074	0.0019	0.0016	0.0111	0.0414	0.0646	0.378
2008	0.0817	0.1401	0.0155	0.0633	0.0077	0.0024	0.0033	0.0059	0.0135	0.0046	0.0342	0.0172	0.389
2009	0.1068	0.0868	0.0996	0.0117	0.0028	0.0105	0.0027	0.0042	0.0267	0.0193	0.0058	0.0205	0.397
2010	0.1026	0.1290	0.1222	0.0480	0.0066	0.0065	0.0022	0.0016	0.0275	0.0301	0.0048	0.0267	0.508
2011	0.0777	0.1459	0.0854	0.0271	0.0036	0.0052	0.0021	0.0015	0.0045	0.0270	0.0046	0.0038	0.388
2012	0.1183	0.1748	0.0422	0.0311	0.0041	0.0057	0.0042	0.0021	0.0070	0.0106	0.0265	0.0177	0.444
2013	0.1194	0.1164	0.0627	0.0207	0.0039	0.0030	0.0029	0.0018	0.0035	0.0292	0.0096	0.0288	0.402
2014	0.1419	0.1306	0.0489	0.0326	0.0045	0.0020	0.0019	0.0033	0.0241	0.0383	0.0057	0.0072	0.441
2015	0.0624	0.0575	0.0300	0.0050	0.0028	0.0026	0.0021	0.0066	0.0077	0.0196	0.0246	0.0502	0.271
2016	0.0634	0.0782	0.0280	0.0040	0.0026	0.0024	0.0029	0.0025	0.0046	0.0376	0.0058	0.0544	0.286
2017	0.1285	0.0800	0.0391	0.0366	0.0053	0.0018	0.0018	0.0033	0.0048	0.0092	0.0257	0.0534	0.389
2018	0.1051	0.0898	0.0176	0.0056	0.0022	0.0207	0.0035	0.0118	0.0023	0.0160	0.0191	0.0795	0.373
2019	0.1529	0.1078	0.0730	0.0232	0.0033	0.0023	0.0021	0.0019	0.0094	0.0400	0.0121	0.0438	0.472
2020	0.1191	0.0935	0.1100	0.0172	0.0029	0.0033	0.0018	0.0016	0.0127	0.0171	0.0131	0.0036	0.396
PROMEDIO	0.0950	0.0972	0.0678	0.0270	0.0054	0.0048	0.0026	0.0047	0.0095	0.0206	0.0279	0.0379	0.400

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44. Caudales generados en la estación areal Allccoccocha [m³/seg].

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	0.0857	0.1009	0.0826	0.0072	0.0032	0.0025	0.0027	0.0035	0.0226	0.0130	0.0305	0.0139	0.368
1965	0.0926	0.1943	0.1096	0.0321	0.0027	0.0024	0.0024	0.0025	0.0021	0.0044	0.0021	0.0825	0.530
1966	0.0709	0.1196	0.0809	0.0052	0.0268	0.0054	0.0029	0.0009	0.0107	0.0956	0.0973	0.0380	0.554
1967	0.1289	0.2103	0.3144	0.0333	0.0011	0.0027	0.0033	0.0019	0.0080	0.0587	0.0063	0.0524	0.821
1968	0.1584	0.0886	0.1174	0.0084	0.0001	0.0009	0.0025	0.0020	0.0042	0.0259	0.0878	0.0283	0.525
1969	0.0830	0.0966	0.1129	0.0688	0.0051	0.0012	0.0024	0.0004	0.0018	0.0391	0.0453	0.0879	0.545
1970	0.1791	0.0746	0.0769	0.0296	0.0027	0.0001	0.0037	0.0035	0.0173	0.0638	0.0294	0.0902	0.571
1971	0.1181	0.2159	0.0978	0.0345	0.0020	0.0044	0.0022	0.0021	0.0032	0.0166	0.0289	0.0366	0.562
1972	0.2381	0.1671	0.1084	0.0173	0.0015	0.0027	0.0089	0.0065	0.0045	0.0191	0.0459	0.0863	0.706
1973	0.1396	0.2755	0.1413	0.0703	0.0052	0.0035	0.0023	0.0116	0.0136	0.0075	0.1069	0.0843	0.862
1974	0.1759	0.2407	0.1257	0.0475	0.0051	0.0012	0.0011	0.0230	0.0030	0.0185	0.0629	0.0177	0.722
1975	0.0437	0.1151	0.1046	0.0074	0.0158	0.0037	0.0026	0.0012	0.0029	0.0310	0.0649	0.1615	0.554
1976	0.1829	0.1700	0.1700	0.0516	0.0047	0.0078	0.0010	0.0076	0.0455	0.0063	0.0002	0.0968	0.744
1977	0.0536	0.1233	0.1059	0.0079	0.0013	0.0036	0.0026	0.0029	0.0139	0.0141	0.1154	0.1015	0.546
1978	0.2053	0.0675	0.0857	0.0106	0.0175	0.0037	0.0027	0.0031	0.0191	0.0547	0.0856	0.0699	0.625
1979	0.0915	0.1513	0.1582	0.0700	0.0047	0.0030	0.0024	0.0022	0.0265	0.0401	0.0445	0.0645	0.659
1980	0.1048	0.1057	0.0734	0.0060	0.0011	0.0027	0.0023	0.0041	0.0014	0.0366	0.0279	0.0121	0.378
1981	0.1582	0.1890	0.0815	0.0428	0.0026	0.0021	0.0014	0.0055	0.0145	0.0464	0.0739	0.1492	0.767
1982	0.1942	0.2006	0.1306	0.0448	0.0032	0.0205	0.0011	0.0014	0.0132	0.0011	0.1128	0.1055	0.829
1983	0.2436	0.1605	0.0259	0.0746	0.0124	0.0083	0.0020	0.0010	0.0313	0.0344	0.0180	0.0530	0.665
1984	0.1303	0.0688	0.0688	0.0203	0.0036	0.0020	0.0008	0.0196	0.0012	0.0576	0.1267	0.0939	0.593
1985	0.1145	0.1317	0.0447	0.0559	0.0080	0.0046	0.0021	0.0064	0.0461	0.0133	0.0019	0.0179	0.447
1986	0.0808	0.0969	0.0856	0.0314	0.0027	0.0012	0.0028	0.0089	0.0087	0.0272	0.0513	0.0231	0.421
1987	0.1255	0.0876	0.0430	0.0089	0.0079	0.0045	0.0073	0.0018	0.0036	0.0411	0.0804	0.1145	0.526
1988	0.2338	0.2708	0.1576	0.0774	0.0067	0.0013	0.0018	0.0038	0.0016	0.0318	0.0170	0.0547	0.858
1989	0.1139	0.1740	0.0840	0.0069	0.0026	0.0017	0.0038	0.0051	0.0031	0.0490	0.0394	0.0557	0.539
1990	0.2065	0.1967	0.1138	0.0565	0.0099	0.0218	0.0024	0.0069	0.0014	0.0759	0.1259	0.1647	0.982
1991	0.1999	0.2191	0.1416	0.0679	0.0099	0.0012	0.0035	0.0037	0.0018	0.0116	0.0296	0.0089	0.699
1992	0.1284	0.1239	0.0413	0.0126	0.0040	0.0276	0.0046	0.0522	0.0068	0.0435	0.0202	0.0566	0.522
1993	0.1913	0.1512	0.1092	0.0619	0.0043	0.0030	0.0032	0.0024	0.0146	0.0267	0.0277	0.0173	0.613
1994	0.1067	0.1028	0.1774	0.0100	0.0015	0.0042	0.0021	0.0098	0.0036	0.0292	0.0209	0.0537	0.522
1995	0.1515	0.1007	0.0527	0.0808	0.0055	0.0014	0.0021	0.0059	0.0019	0.0594	0.0054	0.0746	0.542
1996	0.2130	0.1331	0.1524	0.0095	0.0013	0.0225	0.0041	0.0052	0.0033	0.0321	0.0088	0.0941	0.679
1997	0.1841	0.1309	0.0617	0.0389	0.0043	0.0192	0.0019	0.0016	0.0015	0.0044	0.0973	0.0094	0.555
1998	0.0820	0.1151	0.0411	0.0439	0.0052	0.0164	0.0026	0.0097	0.0453	0.0031	0.0694	0.0545	0.488
1999	0.2002	0.1346	0.0867	0.0465	0.0061	0.0062	0.0018	0.0247	0.0049	0.0022	0.0524	0.0544	0.621
2000	0.1749	0.1009	0.1674	0.0805	0.0169	0.0086	0.0015	0.0090	0.0071	0.0316	0.0268	0.0347	0.660
2001	0.1929	0.1343	0.2596	0.0866	0.0164	0.0014	0.0020	0.0235	0.0499	0.0373	0.0261	0.0170	0.847
2002	0.1856	0.1096	0.0488	0.0371	0.0098	0.0018	0.0034	0.0022	0.0031	0.0022	0.0803	0.1014	0.585
2003	0.1743	0.2190	0.1134	0.0198	0.0018	0.0023	0.0007	0.0090	0.0126	0.0223	0.0030	0.0062	0.584
2004	0.0900	0.1243	0.0733	0.0636	0.0039	0.0015	0.0007	0.0021	0.0220	0.0094	0.0327	0.0053	0.429
2005	0.1002	0.0713	0.1236	0.0181	0.0016	0.0025	0.0014	0.0026	0.0106	0.0247	0.0378	0.0616	0.456
2006	0.1352	0.1977	0.1158	0.0228	0.0034	0.0001	0.0019	0.0007	0.0574	0.0731	0.0292	0.0068	0.644
2007	0.1623	0.0813	0.0567	0.0640	0.0047	0.0127	0.0106	0.0008	0.0009	0.0169	0.0655	0.1006	0.577
2008	0.1278	0.2213	0.0148	0.1006	0.0073	0.0014	0.0036	0.0081	0.0203	0.0051	0.0542	0.0246	0.589
2009	0.1724	0.1327	0.1561	0.0103	0.0025	0.0153	0.0025	0.0055	0.0421	0.0282	0.0064	0.0314	0.605
2010	0.1652	0.2018	0.1903	0.0683	0.0064	0.0089	0.0021	0.0011	0.0436	0.0458	0.0046	0.0416	0.780
2011	0.1237	0.2311	0.1291	0.0367	0.0021	0.0067	0.0019	0.0010	0.0065	0.0428	0.0045	0.0047	0.591
2012	0.1918	0.2758	0.0560	0.0457	0.0031	0.0078	0.0051	0.0022	0.0100	0.0159	0.0417	0.0258	0.681
2013	0.1929	0.1802	0.0934	0.0276	0.0036	0.0034	0.0040	0.0017	0.0040	0.0460	0.0126	0.0442	0.614
2014	0.2290	0.2012	0.0701	0.0482	0.0036	0.0016	0.0019	0.0043	0.0380	0.0600	0.0060	0.0103	0.674
2015	0.1010	0.0877	0.0442	0.0050	0.0031	0.0022	0.0017	0.0096	0.0110	0.0302	0.0377	0.0785	0.412
2016	0.0985	0.1209	0.0389	0.0026	0.0030	0.0024	0.0031	0.0025	0.0061	0.0598	0.0050	0.0871	0.430
2017	0.2051	0.1195	0.0577	0.0551	0.0046	0.0010	0.0018	0.0040	0.0059	0.0131	0.0399	0.0844	0.592
2018	0.1668	0.1379	0.0220	0.0061	0.0020	0.0327	0.0035	0.0179	0.0015	0.0247	0.0289	0.1277	0.572
2019	0.2434	0.1627	0.1111	0.0307	0.0020	0.0027	0.0020	0.0013	0.0141	0.0638	0.0158	0.0691	0.719
2020	0.1907	0.1421	0.1722	0.0179	0.0018	0.0039	0.0017	0.0009	0.0189	0.0257	0.0185	0.0034	0.598
PROM.	0.1515	0.1501	0.1032	0.0377	0.0054	0.0060	0.0027	0.0064	0.0139	0.0318	0.0428	0.0587	0.610

Fuente: Elaboración propia.

Así mismo con los datos de las tablas anteriores obtuvimos también los resúmenes de los caudales en forma gráfica de los histogramas de caudales generados en la estación areal Rontoccocha [m^3/seg] (Figura 111), los percentiles de los caudales [m^3/seg]. y volúmenes [MM^3]. generados en la estación areal Rontoccocha (Tabla 45), con su respectivo gráfico de estacionalidad mensual (Figura 112).

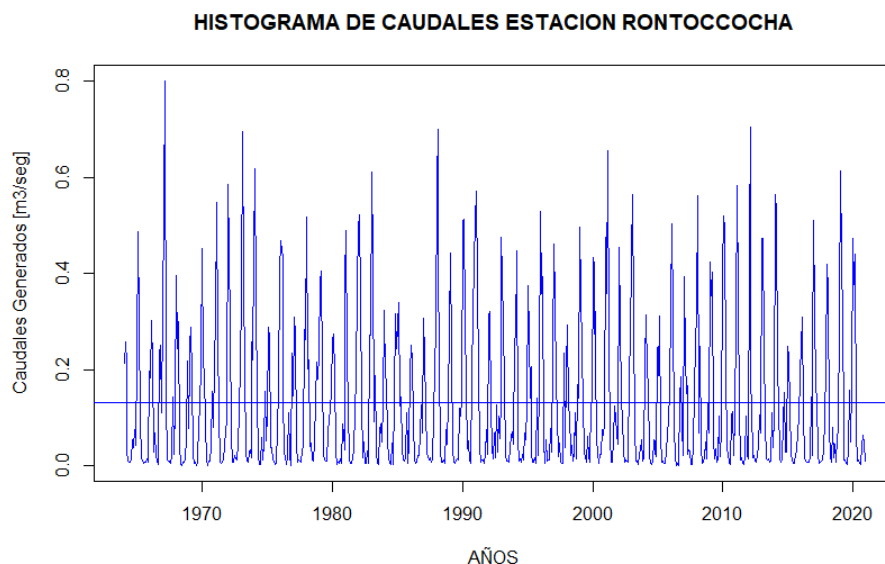


Figura 111. Caudales generados en la estación areal Rontoccocha [m^3/seg].

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45. Percentiles de caudales [m^3/seg] y volúmenes [MM^3] Rontoccocha

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
n	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
Q. Min.	0.108	0.187	0.069	0.014	0.002	0.001	0.002	0.001	0.002	0.004	0.001	0.010
Q. Máx.	0.612	0.705	0.801	0.253	0.069	0.080	0.030	0.127	0.138	0.234	0.317	0.420
Q. Prom.	0.377	0.391	0.274	0.110	0.021	0.017	0.009	0.017	0.035	0.079	0.108	0.148
Dev. Est.	0.128	0.138	0.140	0.065	0.014	0.017	0.005	0.020	0.036	0.052	0.084	0.102
Var	0.340	0.354	0.510	0.592	0.653	1.007	0.540	1.210	1.012	0.662	0.780	0.690
Q50	0.377	0.391	0.274	0.110	0.021	0.017	0.009	0.017	0.035	0.079	0.108	0.148
Q75	0.291	0.298	0.180	0.066	0.012	0.005	0.006	0.003	0.011	0.043	0.051	0.079
Q90	0.254	0.258	0.139	0.047	0.008	0.001	0.004	0.001	0.001	0.029	0.027	0.050
Vmin	0.289	0.452	0.185	0.037	0.005	0.002	0.006	0.003	0.004	0.011	0.002	0.026
Vmax	1.640	1.706	2.144	0.656	0.184	0.207	0.079	0.340	0.357	0.627	0.821	1.126
Vpro	1.010	0.946	0.733	0.286	0.057	0.044	0.023	0.045	0.091	0.210	0.281	0.397
V75	0.343	0.335	0.374	0.169	0.037	0.044	0.013	0.055	0.092	0.139	0.219	0.274
V80	0.910	0.857	1.366	1.535	1.750	2.611	1.446	3.240	2.624	1.774	2.022	1.848
V90	1.010	0.946	0.733	0.286	0.057	0.044	0.023	0.045	0.091	0.210	0.281	0.397

Fuente: Elaboración propia.

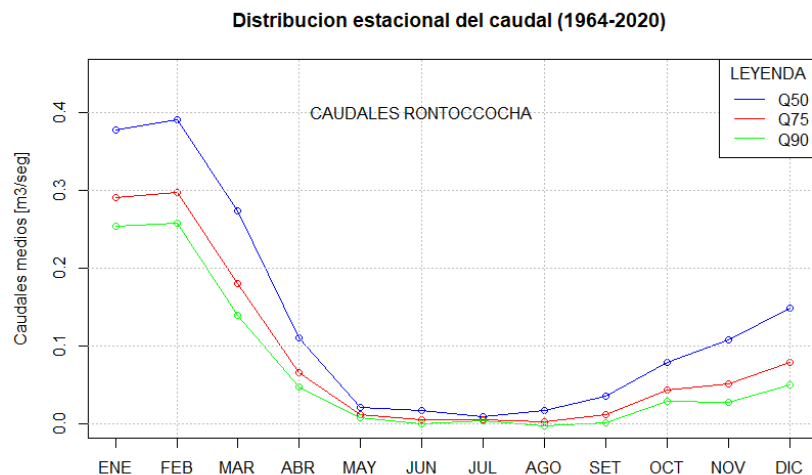


Figura 112. Caudales medios de ingreso al embalse Rontoccocha.

Fuente: Elaboración propia.

De igual manera obtuvimos también los resúmenes de los caudales medios de ingreso al embalse Alfallaccocha los caudales en forma gráfica de los histogramas caudales generados en la estación areal Alfallaccocha [m^3/seg] (Figura 113), los percentiles de los caudales [m^3/seg] y volúmenes [MM^3] generados en la estación areal Alfallaccocha (Tabla 46), con su respectivo gráfico de estacionalidad mensual (Figura 114).

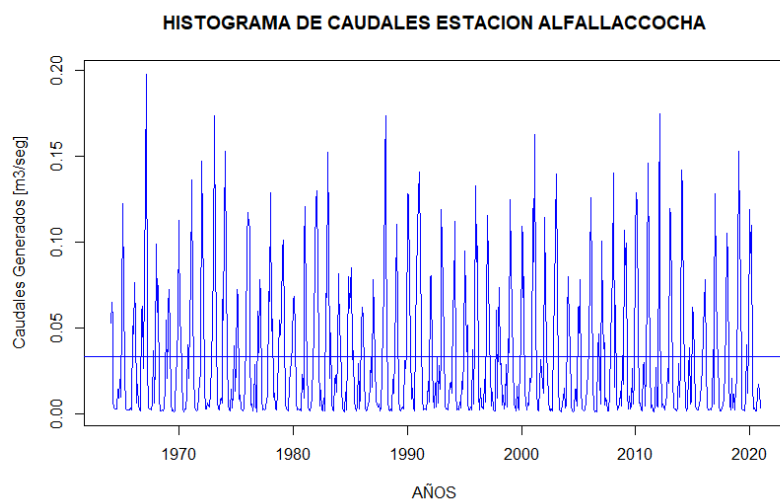


Figura 113. Caudales generados en la estación areal Alfallaccocha [m^3/seg].

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46. Percentiles de caudales [m³/seg] y volúmenes [MM³] Alfallaccocha

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
n	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
Q. Min.	0.028	0.047	0.015	0.004	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.004
Q. Máx.	0.153	0.175	0.198	0.063	0.017	0.021	0.007	0.033	0.036	0.059	0.080	0.105
Q. Prom.	0.095	0.097	0.068	0.027	0.005	0.005	0.003	0.005	0.009	0.021	0.028	0.038
Dev. Est.	0.032	0.034	0.035	0.016	0.003	0.004	0.001	0.005	0.009	0.013	0.021	0.026
Var	0.337	0.353	0.512	0.602	0.603	0.922	0.426	1.090	0.962	0.640	0.766	0.677
Q50	0.095	0.097	0.068	0.027	0.005	0.005	0.003	0.005	0.009	0.021	0.028	0.038
Q75	0.073	0.074	0.044	0.016	0.003	0.002	0.002	0.001	0.003	0.012	0.013	0.021
Q90	0.064	0.064	0.034	0.011	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.008	0.007	0.013
Vmin	0.076	0.114	0.041	0.010	0.005	0.004	0.004	0.003	0.004	0.005	0.003	0.010
Vmax	0.409	0.423	0.530	0.164	0.046	0.054	0.020	0.088	0.093	0.159	0.207	0.281
Vpro	0.254	0.235	0.182	0.070	0.014	0.012	0.007	0.013	0.025	0.055	0.072	0.101
V75	0.086	0.083	0.093	0.042	0.009	0.011	0.003	0.014	0.024	0.035	0.055	0.069
V80	0.902	0.854	1.371	1.561	1.616	2.389	1.141	2.920	2.493	1.714	1.985	1.812
V90	0.254	0.235	0.182	0.070	0.014	0.012	0.007	0.013	0.025	0.055	0.072	0.101

Fuente: Elaboración propia.

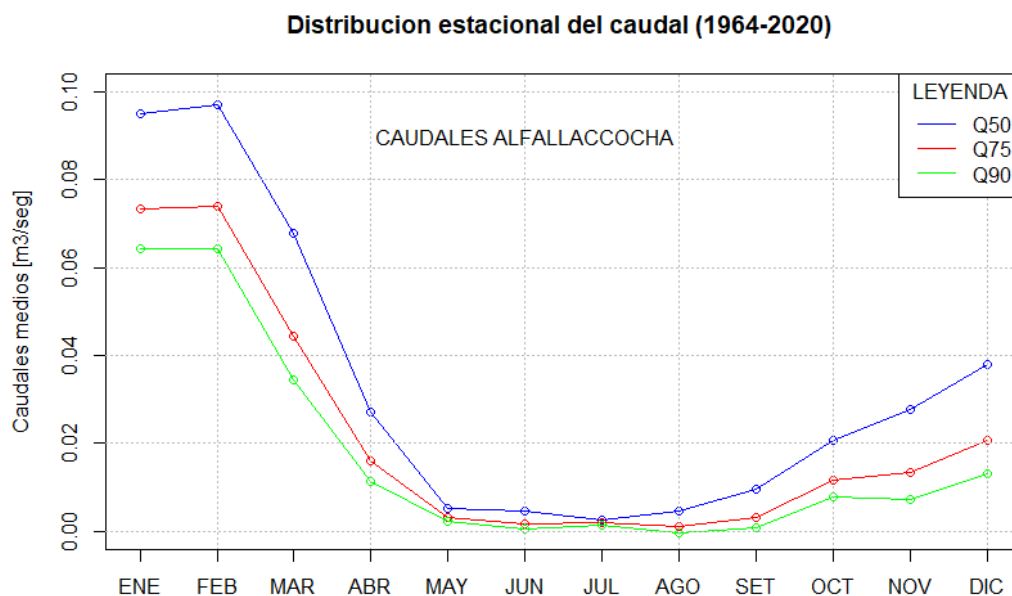


Figura 114. Caudales medios de ingreso al embalse Alfallaccocha.

Fuente: Elaboración propia.

Y también obtuvimos de igual manera los resúmenes de los caudales medios de ingreso al embalse Allcoccocha los caudales en forma gráfica de los histogramas caudales generados en la estación areal Allcoccocha [m³/seg] (Figura 115), los percentiles de los caudales [m³/seg] y volúmenes [MM³] generados en la estación areal Allcoccocha (Tabla 47), con su respectivo gráfico de estacionalidad mensual (Figura 116).

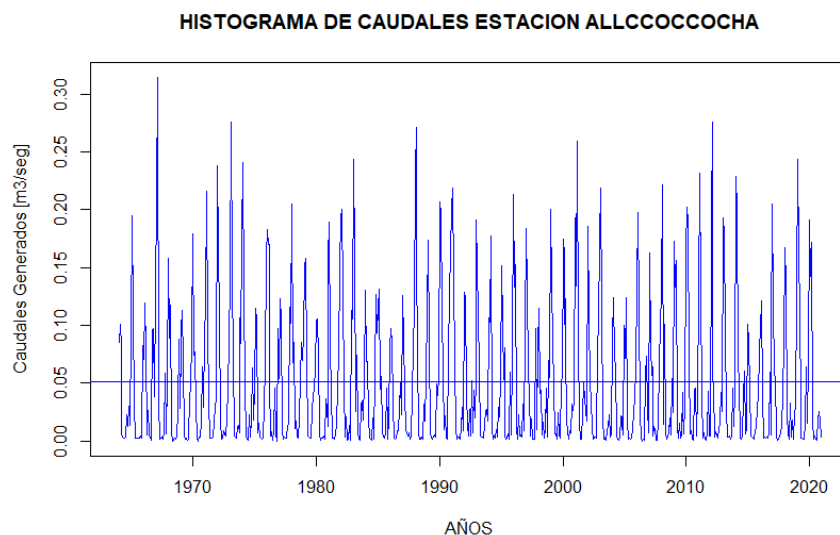


Figura 115. Caudales generados en la estación areal Allcoccocha [m³/seg].

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47. Percentiles de caudales [m³/seg] y volúmenes [MM³] Allcoccocha

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
n	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
Q. Min.	0.044	0.067	0.015	0.003	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.003
Q. Máx.	0.244	0.276	0.314	0.101	0.027	0.033	0.011	0.052	0.057	0.096	0.127	0.165
Q. Prom.	0.151	0.150	0.103	0.038	0.005	0.006	0.003	0.006	0.014	0.032	0.043	0.059
Dev. Est.	0.052	0.055	0.056	0.026	0.005	0.007	0.002	0.009	0.015	0.022	0.035	0.041
Var	0.340	0.368	0.545	0.694	0.933	1.206	0.648	1.331	1.072	0.678	0.818	0.703
Q50	0.151	0.150	0.103	0.038	0.005	0.006	0.003	0.006	0.014	0.032	0.043	0.059
Q75	0.117	0.113	0.065	0.020	0.002	0.001	0.002	0.001	0.004	0.017	0.019	0.031
Q90	0.102	0.097	0.049	0.013	0.001	-0.001	0.001	0.001	0.000	0.011	0.009	0.019
Vmin	0.117	0.163	0.040	0.007	0.000	0.000	0.002	0.001	0.002	0.003	0.001	0.009
Vmax	0.652	0.667	0.842	0.261	0.072	0.085	0.028	0.140	0.149	0.256	0.328	0.441
Vpro	0.406	0.363	0.276	0.098	0.014	0.016	0.007	0.017	0.036	0.085	0.111	0.157
V75	0.138	0.134	0.151	0.068	0.013	0.019	0.005	0.023	0.039	0.058	0.091	0.111
V80	0.911	0.891	1.459	1.799	2.500	3.126	1.734	3.565	2.779	1.816	2.121	1.884
V90	0.406	0.363	0.276	0.098	0.014	0.016	0.007	0.017	0.036	0.085	0.111	0.157

Fuente: Elaboración propia.

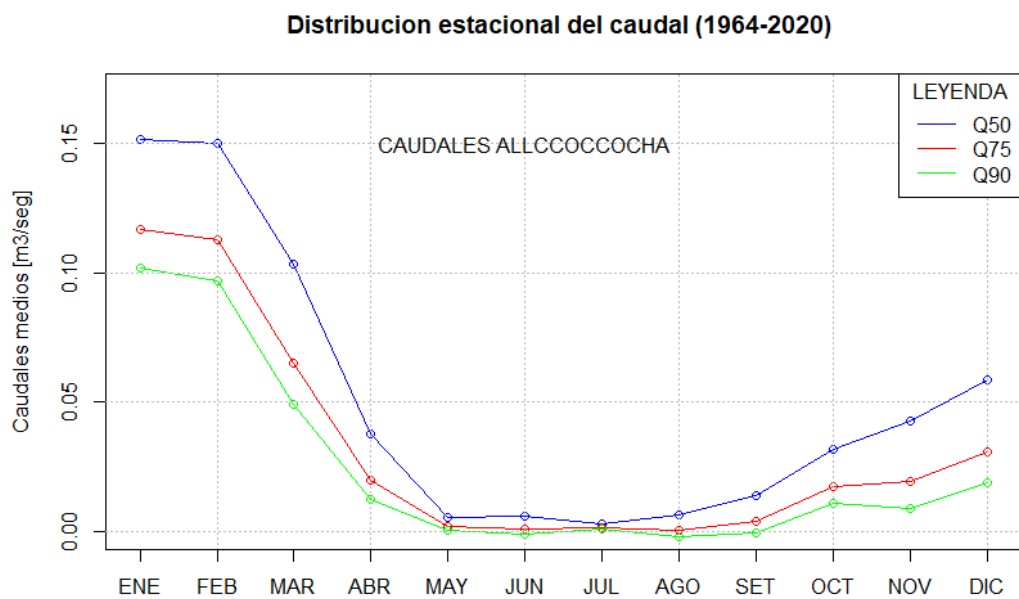


Figura 116. Distribución estacional de caudales de ingreso al embalse Allccoccocha.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.4 Evaluación de volúmenes generados en el sistema Rontoccocha.

a) calculo y análisis de los volúmenes de ingreso

Con los caudales generados en cada cuenca se obtuvieron los volúmenes de ingreso en cada cuenca con la expresión para el cálculo del volumen de ingreso en el mes en el embalse de Rontoccocha

$$V_i = \frac{(Q_{ing} * N_{dias} * 86400)}{10^6}$$

Donde:

V_i = Volumen total de almacenamiento en el mes (Hm³)

Q_{ing} = Caudal de salida regulado en el embalse (m³/s)

N_{dias} = Número de días del mes (días)

Con esta expresión se obtuvieron los volúmenes que se muestran en las tablas 48 al 50 expresadas en millones de metros cúbicos [MM³].



Figura 117. Vista panorámica del sistema de embalse Rontoccocha.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48. Volúmenes generados en la estación areal Rontoccocha [MM³].

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	0.5734	0.6244	0.5729	0.0806	0.0298	0.0172	0.0188	0.0298	0.1416	0.0997	0.1926	0.1122	2.493
1965	0.6004	1.1807	0.7938	0.2529	0.0392	0.0284	0.0164	0.0169	0.0177	0.0408	0.0183	0.5302	3.536
1966	0.4889	0.7281	0.5738	0.0739	0.1841	0.0543	0.0248	0.0092	0.0741	0.6273	0.6517	0.2948	3.785
1967	0.8590	1.2898	2.1443	0.3605	0.0320	0.0253	0.0264	0.0142	0.0523	0.3825	0.0596	0.3462	5.592
1968	1.0576	0.5899	0.8049	0.1099	0.0046	0.0025	0.0172	0.0181	0.0331	0.1644	0.5655	0.2103	3.578
1969	0.5594	0.6060	0.7730	0.4811	0.0617	0.0134	0.0214	0.0034	0.0169	0.2547	0.2988	0.5880	3.678
1970	1.2074	0.5105	0.5282	0.2186	0.0355	0.0040	0.0242	0.0290	0.1052	0.4140	0.2073	0.5978	3.882
1971	0.8050	1.3248	0.7227	0.2716	0.0316	0.0274	0.0143	0.0198	0.0324	0.1131	0.1878	0.2486	3.799
1972	1.5665	1.0792	0.7708	0.1593	0.0184	0.0192	0.0570	0.0457	0.0297	0.1205	0.2935	0.5721	4.732
1973	0.9429	1.6841	1.0260	0.5093	0.0696	0.0327	0.0216	0.0741	0.0874	0.0453	0.6687	0.5911	5.753
1974	1.1804	1.4954	0.9187	0.3561	0.0594	0.0070	0.0099	0.1587	0.0318	0.1196	0.4003	0.1408	4.878
1975	0.2889	0.6945	0.7209	0.0986	0.1038	0.0361	0.0262	0.0080	0.0130	0.2019	0.4174	1.0761	3.685
1976	1.2531	1.0800	1.1742	0.3951	0.0638	0.0536	0.0090	0.0480	0.2873	0.0633	0.0017	0.6295	5.059
1977	0.3905	0.7493	0.7387	0.1075	0.0187	0.0323	0.0237	0.0225	0.0850	0.0988	0.7325	0.7058	3.706
1978	1.3883	0.4891	0.5874	0.1043	0.1233	0.0331	0.0270	0.0277	0.1219	0.3652	0.5586	0.4856	4.312
1979	0.6260	0.9282	1.0875	0.5099	0.0686	0.0318	0.0259	0.0257	0.1681	0.2655	0.2915	0.4346	4.464
1980	0.7004	0.6637	0.5144	0.0774	0.0074	0.0186	0.0114	0.0357	0.0118	0.2328	0.1760	0.0910	2.541
1981	1.0320	1.1830	0.6134	0.3115	0.0366	0.0150	0.0143	0.0359	0.0860	0.3022	0.4771	1.0033	5.110
1982	1.3291	1.2632	0.9306	0.3429	0.0466	0.1280	0.0123	0.0158	0.0826	0.0110	0.7056	0.7274	5.595
1983	1.6350	1.0574	0.2427	0.4880	0.1162	0.0654	0.0188	0.0092	0.1976	0.2332	0.1293	0.3438	4.536
1984	0.8645	0.4519	0.4736	0.1456	0.0385	0.0174	0.0056	0.1281	0.0095	0.3680	0.8173	0.6549	3.975
1985	0.7872	0.8209	0.3357	0.3728	0.0860	0.0398	0.0249	0.0469	0.2883	0.1096	0.0158	0.1168	3.045
1986	0.5262	0.6046	0.5899	0.2366	0.0330	0.0126	0.0210	0.0593	0.0526	0.1766	0.3304	0.1808	2.824
1987	0.8246	0.5601	0.3122	0.0653	0.0569	0.0325	0.0469	0.0199	0.0297	0.2789	0.5223	0.7729	3.522
1988	1.5766	1.6929	1.1321	0.5641	0.0774	0.0166	0.0187	0.0331	0.0138	0.2027	0.1181	0.3640	5.810
1989	0.7642	1.0711	0.6193	0.0845	0.0264	0.0140	0.0338	0.0390	0.0311	0.3184	0.2649	0.3716	3.638
1990	1.3670	1.2402	0.8160	0.4094	0.0947	0.1337	0.0288	0.0445	0.0111	0.4954	0.8214	1.1256	6.588
1991	1.3731	1.3813	1.0130	0.4933	0.1020	0.0174	0.0308	0.0325	0.0142	0.0696	0.1921	0.0661	4.785
1992	0.8419	0.7745	0.3201	0.0987	0.0387	0.1764	0.0456	0.3403	0.0718	0.2760	0.1455	0.3775	3.507
1993	1.2721	0.9631	0.7722	0.4401	0.0624	0.0257	0.0233	0.0228	0.0913	0.1694	0.1828	0.1230	4.148
1994	0.7039	0.6481	1.1953	0.1388	0.0255	0.0351	0.0186	0.0654	0.0298	0.1832	0.1404	0.3414	3.526
1995	1.0035	0.6534	0.3774	0.5316	0.0661	0.0164	0.0190	0.0426	0.0143	0.3754	0.0566	0.4807	3.637
1996	1.4167	0.8665	1.0524	0.1324	0.0141	0.1402	0.0292	0.0338	0.0292	0.2096	0.0731	0.6191	4.616
1997	1.2336	0.8428	0.4570	0.2755	0.0496	0.1239	0.0228	0.0155	0.0158	0.0330	0.6086	0.1005	3.779
1998	0.5451	0.7092	0.3138	0.2939	0.0592	0.1086	0.0239	0.0704	0.2871	0.0384	0.4354	0.3790	3.264
1999	1.3264	0.8793	0.6253	0.3370	0.0775	0.0516	0.0208	0.1630	0.0479	0.0224	0.3333	0.3672	4.252
2000	1.1604	0.6621	1.1381	0.5738	0.1515	0.0653	0.0123	0.0649	0.0596	0.1985	0.1666	0.2330	4.486
2001	1.2722	0.8681	1.7538	0.6562	0.1520	0.0202	0.0209	0.1483	0.3212	0.2638	0.1798	0.1189	5.775
2002	1.2184	0.7183	0.3625	0.2559	0.0833	0.0207	0.0319	0.0258	0.0252	0.0217	0.5078	0.6908	3.962
2003	1.1770	1.3653	0.8291	0.1863	0.0280	0.0272	0.0073	0.0648	0.0860	0.1473	0.0283	0.0414	3.988
2004	0.5845	0.7600	0.5252	0.4302	0.0546	0.0178	0.0071	0.0202	0.1401	0.0654	0.2068	0.0518	2.864
2005	0.6603	0.4564	0.8348	0.1675	0.0221	0.0224	0.0117	0.0156	0.0768	0.1747	0.2496	0.4124	3.104
2006	0.8950	1.2195	0.8388	0.2097	0.0439	0.0017	0.0159	0.0040	0.3567	0.4975	0.2095	0.0576	4.350
2007	1.0517	0.5390	0.3996	0.4311	0.0634	0.0838	0.0794	0.0060	0.0043	0.1103	0.4124	0.6652	3.846
2008	0.8736	1.3585	0.1854	0.6460	0.0967	0.0139	0.0227	0.0499	0.1304	0.0398	0.3386	0.1803	3.936
2009	1.1363	0.8550	1.0761	0.1423	0.0376	0.0948	0.0229	0.0406	0.2649	0.1938	0.0512	0.1989	4.114
2010	1.0857	1.2579	1.3244	0.5193	0.0919	0.0668	0.0230	0.0081	0.2701	0.3046	0.0569	0.2680	5.277
2011	0.8154	1.4114	0.9338	0.2973	0.0333	0.0438	0.0182	0.0093	0.0486	0.2792	0.0539	0.0375	3.982
2012	1.2450	1.7064	0.4728	0.3173	0.0439	0.0539	0.0350	0.0224	0.0625	0.1085	0.2721	0.1841	4.524
2013	1.2686	1.1452	0.6818	0.2209	0.0441	0.0296	0.0382	0.0186	0.0237	0.2931	0.0997	0.2795	4.143
2014	1.5096	1.2779	0.5414	0.3419	0.0467	0.0184	0.0176	0.0337	0.2400	0.4052	0.0766	0.0751	4.584
2015	0.6670	0.5511	0.3243	0.0630	0.0308	0.0116	0.0107	0.0654	0.0742	0.1975	0.2499	0.5125	2.758
2016	0.6667	0.7463	0.2942	0.0368	0.0295	0.0212	0.0199	0.0191	0.0408	0.3834	0.0535	0.5658	2.877
2017	1.3687	0.7901	0.4348	0.3698	0.0565	0.0130	0.0192	0.0281	0.0327	0.0804	0.2506	0.5626	4.006
2018	1.1200	0.8908	0.2097	0.0549	0.0216	0.2073	0.0428	0.1213	0.0183	0.1595	0.1907	0.8424	3.879
2019	1.6401	1.0606	0.7962	0.2445	0.0317	0.0309	0.0190	0.0060	0.0884	0.4198	0.1295	0.4493	4.916
2020	1.2695	0.9144	1.1789	0.1836	0.0273	0.0291	0.0189	0.0042	0.1101	0.1700	0.1204	0.0265	4.053
PROM.	1.0105	0.9462	0.7330	0.2856	0.0570	0.0439	0.0233	0.0453	0.0910	0.2105	0.2806	0.3969	4.124

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49. Volúmenes generados en la estación areal Alfallaccocha [MM³].

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	0.1420	0.1574	0.1446	0.0206	0.0087	0.0070	0.0071	0.0079	0.0381	0.0242	0.0519	0.0258	0.635
1965	0.1554	0.2959	0.1936	0.0619	0.0097	0.0055	0.0066	0.0069	0.0057	0.0086	0.0059	0.1377	0.893
1966	0.1244	0.1851	0.1423	0.0170	0.0464	0.0121	0.0077	0.0040	0.0185	0.1588	0.1625	0.0710	0.950
1967	0.2162	0.3225	0.5301	0.0773	0.0094	0.0069	0.0075	0.0056	0.0148	0.0985	0.0168	0.0880	1.394
1968	0.2643	0.1440	0.2007	0.0242	0.0047	0.0047	0.0065	0.0052	0.0084	0.0451	0.1423	0.0554	0.906
1969	0.1371	0.1502	0.1935	0.1197	0.0169	0.0053	0.0061	0.0033	0.0049	0.0661	0.0764	0.1492	0.929
1970	0.3013	0.1259	0.1346	0.0552	0.0091	0.0036	0.0082	0.0079	0.0302	0.1081	0.0535	0.1522	0.990
1971	0.2018	0.3298	0.1764	0.0645	0.0092	0.0100	0.0068	0.0054	0.0064	0.0289	0.0489	0.0639	0.952
1972	0.3946	0.2664	0.1924	0.0385	0.0074	0.0071	0.0171	0.0133	0.0099	0.0341	0.0761	0.1471	1.204
1973	0.2371	0.4197	0.2522	0.1255	0.0168	0.0086	0.0059	0.0215	0.0246	0.0165	0.1725	0.1472	1.448
1974	0.2971	0.3706	0.2240	0.0883	0.0151	0.0057	0.0041	0.0387	0.0085	0.0329	0.1029	0.0353	1.223
1975	0.0756	0.1752	0.1812	0.0217	0.0299	0.0088	0.0064	0.0046	0.0076	0.0528	0.1072	0.2711	0.942
1976	0.3142	0.2676	0.2930	0.0976	0.0145	0.0156	0.0049	0.0149	0.0744	0.0153	0.0035	0.1603	1.276
1977	0.0961	0.1888	0.1833	0.0223	0.0057	0.0076	0.0063	0.0072	0.0246	0.0258	0.1857	0.1759	0.929
1978	0.3455	0.1167	0.1483	0.0257	0.0318	0.0096	0.0065	0.0073	0.0323	0.0924	0.1416	0.1229	1.081
1979	0.1572	0.2327	0.2715	0.1252	0.0158	0.0074	0.0056	0.0049	0.0439	0.0698	0.0758	0.1112	1.121
1980	0.1790	0.1661	0.1301	0.0174	0.0060	0.0070	0.0069	0.0084	0.0048	0.0624	0.0502	0.0241	0.663
1981	0.2623	0.2919	0.1476	0.0767	0.0106	0.0065	0.0044	0.0112	0.0261	0.0793	0.1229	0.2512	1.291
1982	0.3309	0.3139	0.2305	0.0837	0.0117	0.0356	0.0060	0.0043	0.0233	0.0051	0.1812	0.1825	1.409
1983	0.4090	0.2563	0.0561	0.1230	0.0272	0.0162	0.0061	0.0041	0.0512	0.0606	0.0331	0.0908	1.134
1984	0.2195	0.1140	0.1203	0.0410	0.0098	0.0056	0.0039	0.0341	0.0064	0.0971	0.2070	0.1655	1.024
1985	0.1969	0.2058	0.0853	0.0948	0.0184	0.0100	0.0053	0.0124	0.0757	0.0264	0.0071	0.0316	0.770
1986	0.1360	0.1505	0.1493	0.0582	0.0096	0.0045	0.0070	0.0169	0.0173	0.0476	0.0855	0.0423	0.725
1987	0.2094	0.1412	0.0793	0.0215	0.0160	0.0100	0.0149	0.0053	0.0077	0.0683	0.1321	0.1955	0.901
1988	0.3930	0.4200	0.2797	0.1375	0.0206	0.0054	0.0048	0.0079	0.0051	0.0546	0.0312	0.0925	1.452
1989	0.1920	0.2675	0.1508	0.0205	0.0078	0.0051	0.0080	0.0104	0.0069	0.0826	0.0679	0.0969	0.916
1990	0.3442	0.3084	0.2031	0.1010	0.0228	0.0387	0.0076	0.0141	0.0051	0.1258	0.2068	0.2806	1.658
1991	0.3420	0.3411	0.2492	0.1213	0.0238	0.0055	0.0078	0.0081	0.0054	0.0217	0.0494	0.0190	1.194
1992	0.2125	0.1949	0.0783	0.0260	0.0097	0.0460	0.0115	0.0877	0.0161	0.0753	0.0370	0.0958	0.891
1993	0.3189	0.2400	0.1921	0.1089	0.0141	0.0079	0.0078	0.0057	0.0255	0.0478	0.0482	0.0325	1.049
1994	0.1774	0.1613	0.2998	0.0319	0.0065	0.0083	0.0056	0.0183	0.0083	0.0508	0.0374	0.0931	0.899
1995	0.2543	0.1619	0.0967	0.1343	0.0177	0.0055	0.0056	0.0116	0.0058	0.1006	0.0153	0.1254	0.935
1996	0.3560	0.2150	0.2612	0.0289	0.0070	0.0382	0.0112	0.0114	0.0072	0.0546	0.0178	0.1565	1.165
1997	0.3104	0.2096	0.1127	0.0687	0.0122	0.0329	0.0065	0.0048	0.0044	0.0091	0.1568	0.0242	0.952
1998	0.1369	0.1780	0.0770	0.0756	0.0134	0.0285	0.0078	0.0177	0.0744	0.0105	0.1127	0.0960	0.829
1999	0.3342	0.2150	0.1536	0.0824	0.0146	0.0122	0.0052	0.0425	0.0109	0.0059	0.0847	0.0951	1.056
2000	0.2925	0.1643	0.2833	0.1425	0.0363	0.0176	0.0058	0.0164	0.0129	0.0553	0.0481	0.0612	1.136
2001	0.3202	0.2145	0.4364	0.1585	0.0369	0.0069	0.0053	0.0411	0.0827	0.0662	0.0464	0.0322	1.447
2002	0.3068	0.1775	0.0905	0.0652	0.0207	0.0059	0.0072	0.0051	0.0068	0.0054	0.1289	0.1734	0.993
2003	0.2950	0.3388	0.2026	0.0425	0.0075	0.0052	0.0036	0.0163	0.0224	0.0395	0.0090	0.0127	0.995
2004	0.1499	0.1929	0.1303	0.1091	0.0138	0.0050	0.0037	0.0054	0.0370	0.0196	0.0549	0.0127	0.734
2005	0.1657	0.1147	0.2094	0.0400	0.0076	0.0061	0.0049	0.0069	0.0180	0.0418	0.0632	0.1058	0.784
2006	0.2292	0.3043	0.2044	0.0465	0.0097	0.0038	0.0054	0.0038	0.0933	0.1251	0.0546	0.0158	1.096
2007	0.2691	0.1341	0.1017	0.1076	0.0146	0.0232	0.0197	0.0050	0.0043	0.0297	0.1073	0.1729	0.989
2008	0.2189	0.3390	0.0415	0.1641	0.0206	0.0063	0.0087	0.0159	0.0349	0.0124	0.0888	0.0462	0.997
2009	0.2860	0.2100	0.2668	0.0303	0.0076	0.0271	0.0073	0.0112	0.0691	0.0517	0.0150	0.0548	1.037
2010	0.2747	0.3121	0.3272	0.1244	0.0176	0.0168	0.0060	0.0044	0.0714	0.0807	0.0124	0.0714	1.319
2011	0.2081	0.3529	0.2286	0.0703	0.0097	0.0134	0.0056	0.0039	0.0118	0.0722	0.0119	0.0102	0.999
2012	0.3170	0.4230	0.1129	0.0807	0.0110	0.0148	0.0113	0.0057	0.0180	0.0284	0.0687	0.0473	1.139
2013	0.3197	0.2817	0.1679	0.0537	0.0103	0.0077	0.0078	0.0049	0.0090	0.0781	0.0250	0.0771	1.043
2014	0.3800	0.3160	0.1311	0.0844	0.0120	0.0051	0.0050	0.0089	0.0624	0.1026	0.0149	0.0194	1.142
2015	0.1672	0.1391	0.0803	0.0130	0.0076	0.0067	0.0055	0.0176	0.0199	0.0525	0.0637	0.1344	0.707
2016	0.1697	0.1891	0.0750	0.0103	0.0070	0.0062	0.0077	0.0068	0.0118	0.1008	0.0150	0.1457	0.745
2017	0.3441	0.1935	0.1047	0.0949	0.0141	0.0046	0.0047	0.0088	0.0123	0.0248	0.0666	0.1430	1.016
2018	0.2814	0.2172	0.0472	0.0144	0.0059	0.0538	0.0095	0.0315	0.0061	0.0428	0.0495	0.2130	0.972
2019	0.4095	0.2608	0.1956	0.0600	0.0088	0.0059	0.0055	0.0050	0.0244	0.1072	0.0312	0.1173	1.231
2020	0.3191	0.2263	0.2947	0.0447	0.0079	0.0086	0.0048	0.0042	0.0330	0.0458	0.0339	0.0097	1.033
PROM.	0.2544	0.2351	0.1815	0.0701	0.0143	0.0124	0.0071	0.0127	0.0246	0.0552	0.0722	0.1014	1.041

Fuente: Elaboración propia

Tabla 50. Volúmenes generados en la estación areal Allcoccocha [MM³].

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1964	0.2296	0.2441	0.2212	0.0187	0.0085	0.0066	0.0071	0.0095	0.0585	0.0349	0.0791	0.0371	0.955
1965	0.2479	0.4701	0.2935	0.0831	0.0072	0.0061	0.0064	0.0067	0.0055	0.0118	0.0056	0.2210	1.365
1966	0.1899	0.2894	0.2167	0.0135	0.0718	0.0141	0.0079	0.0024	0.0278	0.2562	0.2521	0.1019	1.444
1967	0.3454	0.5088	0.8422	0.0862	0.0029	0.0071	0.0089	0.0050	0.0206	0.1572	0.0163	0.1402	2.141
1968	0.4242	0.2143	0.3145	0.0219	0.0003	0.0025	0.0068	0.0053	0.0110	0.0693	0.2276	0.0758	1.373
1969	0.2222	0.2338	0.3025	0.1783	0.0135	0.0032	0.0064	0.0011	0.0048	0.1048	0.1173	0.2354	1.423
1970	0.4797	0.1805	0.2060	0.0767	0.0072	0.0002	0.0098	0.0093	0.0449	0.1708	0.0763	0.2416	1.503
1971	0.3163	0.5223	0.2619	0.0895	0.0055	0.0114	0.0060	0.0056	0.0083	0.0444	0.0748	0.0980	1.444
1972	0.6377	0.4043	0.2902	0.0448	0.0039	0.0070	0.0238	0.0174	0.0116	0.0511	0.1190	0.2312	1.842
1973	0.3740	0.6665	0.3785	0.1823	0.0139	0.0092	0.0062	0.0311	0.0351	0.0201	0.2770	0.2259	2.220
1974	0.4711	0.5824	0.3367	0.1230	0.0136	0.0031	0.0028	0.0616	0.0077	0.0496	0.1629	0.0474	1.862
1975	0.1170	0.2784	0.2801	0.0191	0.0422	0.0096	0.0071	0.0032	0.0075	0.0831	0.1682	0.4326	1.448
1976	0.4900	0.4113	0.4553	0.1337	0.0127	0.0203	0.0027	0.0203	0.1179	0.0168	0.0005	0.2593	1.941
1977	0.1435	0.2984	0.2837	0.0205	0.0034	0.0094	0.0069	0.0078	0.0360	0.0377	0.2992	0.2719	1.418
1978	0.5499	0.1632	0.2294	0.0275	0.0469	0.0097	0.0072	0.0084	0.0494	0.1465	0.2219	0.1873	1.647
1979	0.2451	0.3660	0.4237	0.1815	0.0125	0.0078	0.0065	0.0058	0.0687	0.1074	0.1153	0.1727	1.713
1980	0.2806	0.2557	0.1965	0.0156	0.0029	0.0071	0.0063	0.0109	0.0037	0.0980	0.0724	0.0325	0.982
1981	0.4238	0.4573	0.2182	0.1111	0.0069	0.0054	0.0036	0.0146	0.0375	0.1243	0.1915	0.3997	1.994
1982	0.5202	0.4853	0.3499	0.1161	0.0087	0.0531	0.0028	0.0037	0.0343	0.0029	0.2924	0.2825	2.152
1983	0.6525	0.3884	0.0694	0.1934	0.0332	0.0215	0.0054	0.0027	0.0810	0.0922	0.0468	0.1419	1.728
1984	0.3489	0.1664	0.1844	0.0526	0.0096	0.0051	0.0021	0.0525	0.0032	0.1543	0.3283	0.2514	1.559
1985	0.3066	0.3186	0.1197	0.1449	0.0214	0.0118	0.0056	0.0172	0.1195	0.0356	0.0049	0.0478	1.154
1986	0.2164	0.2343	0.2292	0.0813	0.0071	0.0031	0.0075	0.0238	0.0227	0.0730	0.1331	0.0618	1.093
1987	0.3361	0.2120	0.1151	0.0232	0.0211	0.0116	0.0196	0.0048	0.0093	0.1101	0.2084	0.3066	1.378
1988	0.6261	0.6551	0.4222	0.2007	0.0179	0.0034	0.0047	0.0101	0.0042	0.0852	0.0440	0.1464	2.220
1989	0.3050	0.4209	0.2250	0.0180	0.0070	0.0044	0.0103	0.0135	0.0082	0.1314	0.1020	0.1492	1.395
1990	0.5530	0.4759	0.3048	0.1464	0.0265	0.0564	0.0065	0.0185	0.0036	0.2033	0.3263	0.4411	2.562
1991	0.5355	0.5301	0.3792	0.1761	0.0265	0.0032	0.0095	0.0099	0.0048	0.0310	0.0767	0.0238	1.806
1992	0.3438	0.2998	0.1106	0.0326	0.0107	0.0716	0.0124	0.1397	0.0176	0.1165	0.0524	0.1515	1.359
1993	0.5124	0.3657	0.2926	0.1605	0.0115	0.0077	0.0085	0.0063	0.0379	0.0716	0.0719	0.0464	1.593
1994	0.2857	0.2486	0.4751	0.0259	0.0039	0.0108	0.0055	0.0263	0.0092	0.0781	0.0542	0.1437	1.367
1995	0.4059	0.2435	0.1411	0.2093	0.0146	0.0036	0.0056	0.0159	0.0050	0.1592	0.0139	0.1997	1.417
1996	0.5704	0.3220	0.4082	0.0245	0.0036	0.0582	0.0109	0.0138	0.0086	0.0859	0.0227	0.2522	1.781
1997	0.4931	0.3166	0.1652	0.1007	0.0115	0.0496	0.0050	0.0042	0.0039	0.0117	0.2523	0.0252	1.439
1998	0.2197	0.2784	0.1101	0.1139	0.0139	0.0425	0.0068	0.0261	0.1175	0.0082	0.1798	0.1459	1.263
1999	0.5363	0.3256	0.2323	0.1205	0.0164	0.0161	0.0049	0.0663	0.0127	0.0059	0.1359	0.1456	1.619
2000	0.4685	0.2440	0.4484	0.2086	0.0453	0.0224	0.0040	0.0242	0.0184	0.0847	0.0693	0.0931	1.731
2001	0.5167	0.3248	0.6952	0.2244	0.0439	0.0038	0.0053	0.0630	0.1293	0.0998	0.0676	0.0455	2.219
2002	0.4970	0.2653	0.1306	0.0962	0.0262	0.0047	0.0090	0.0058	0.0080	0.0059	0.2081	0.2716	1.528
2003	0.4667	0.5298	0.3038	0.0514	0.0048	0.0060	0.0019	0.0242	0.0328	0.0596	0.0078	0.0166	1.505
2004	0.2409	0.3008	0.1963	0.1649	0.0106	0.0038	0.0019	0.0057	0.0570	0.0253	0.0849	0.0142	1.106
2005	0.2683	0.1724	0.3310	0.0468	0.0044	0.0065	0.0039	0.0069	0.0274	0.0661	0.0979	0.1650	1.197
2006	0.3622	0.4782	0.3102	0.0590	0.0090	0.0003	0.0051	0.0018	0.1489	0.1957	0.0758	0.0181	1.664
2007	0.4346	0.1967	0.1519	0.1659	0.0126	0.0330	0.0283	0.0023	0.0022	0.0454	0.1698	0.2695	1.512
2008	0.3424	0.5354	0.0395	0.2607	0.0194	0.0036	0.0097	0.0216	0.0527	0.0138	0.1406	0.0659	1.505
2009	0.4617	0.3211	0.4180	0.0268	0.0068	0.0397	0.0066	0.0147	0.1091	0.0756	0.0166	0.0840	1.581
2010	0.4425	0.4883	0.5097	0.1769	0.0173	0.0231	0.0056	0.0029	0.1130	0.1226	0.0120	0.1114	2.025
2011	0.3314	0.5592	0.3458	0.0952	0.0057	0.0174	0.0051	0.0026	0.0170	0.1145	0.0118	0.0127	1.518
2012	0.5136	0.6673	0.1500	0.1184	0.0083	0.0201	0.0136	0.0059	0.0258	0.0425	0.1080	0.0692	1.743
2013	0.5167	0.4360	0.2503	0.0716	0.0096	0.0089	0.0106	0.0045	0.0103	0.1233	0.0327	0.1185	1.593
2014	0.6133	0.4867	0.1877	0.1249	0.0095	0.0041	0.0050	0.0115	0.0986	0.1607	0.0156	0.0277	1.745
2015	0.2706	0.2121	0.1183	0.0128	0.0083	0.0058	0.0045	0.0256	0.0285	0.0809	0.0977	0.2102	1.075
2016	0.2638	0.2926	0.1042	0.0068	0.0081	0.0063	0.0082	0.0068	0.0159	0.1601	0.0130	0.2334	1.119
2017	0.5492	0.2890	0.1544	0.1429	0.0123	0.0027	0.0048	0.0106	0.0152	0.0352	0.1034	0.2261	1.546
2018	0.4468	0.3335	0.0589	0.0158	0.0053	0.0847	0.0093	0.0480	0.0040	0.0662	0.0748	0.3419	1.489
2019	0.6518	0.3935	0.2976	0.0797	0.0055	0.0071	0.0053	0.0035	0.0364	0.1710	0.0409	0.1851	1.877
2020	0.5107	0.3438	0.4612	0.0465	0.0048	0.0100	0.0045	0.0024	0.0490	0.0689	0.0479	0.0092	1.559
PROM.	0.4057	0.3632	0.2763	0.0976	0.0144	0.0156	0.0073	0.0171	0.0361	0.0852	0.1109	0.1572	1.587

Fuente: Elaboración propia

De las tablas 48 y 50 se obtuvo los histogramas de volúmenes de ingreso en cada cuenca de análisis que se muestran en las figuras 118 al 120, para el periodo de análisis de 1964 al 2020.

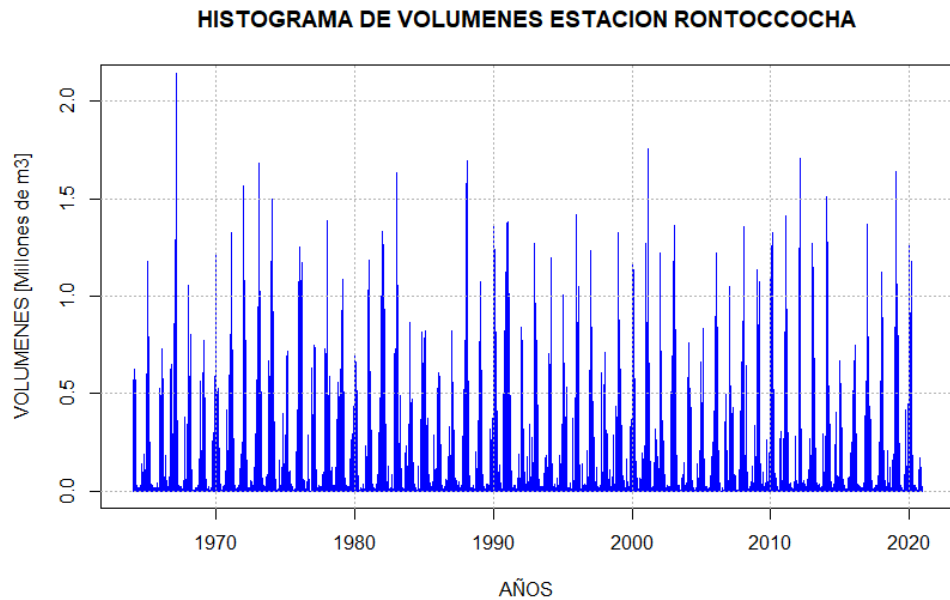


Figura 118. Histograma de volúmenes de ingreso al embalse Rontoccocha.

Fuente: Elaboración propia.

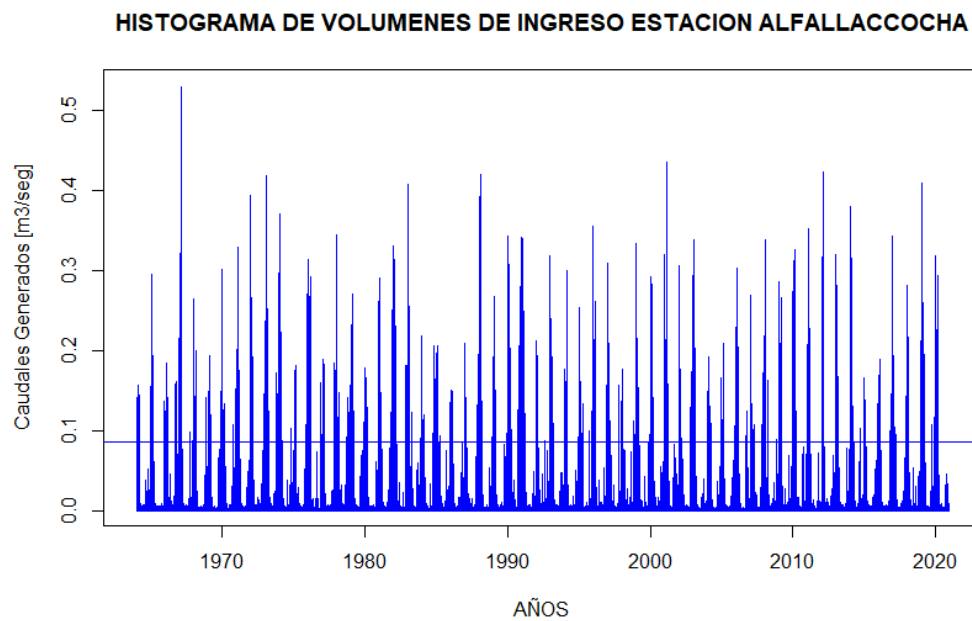


Figura 119. Histograma de volúmenes de ingreso al embalse Alfallaccocha.

Fuente: Elaboración propia.

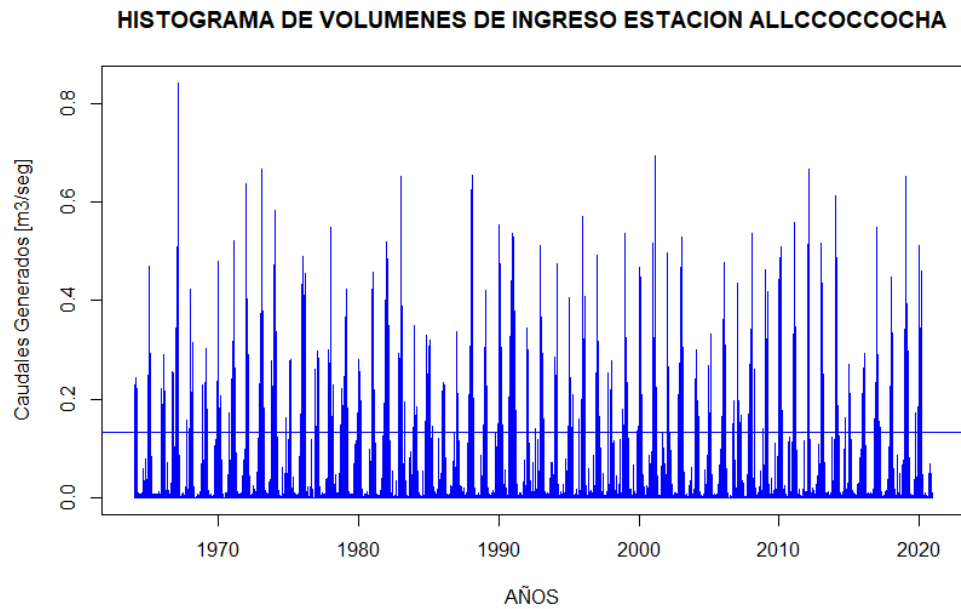


Figura 120. Histograma de volúmenes de ingreso al embalse Allccoccocha.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de doble masa

Del mismo modo se realizó el análisis de doble masa de volúmenes de ingreso para cada cuenca mostramos en las figuras 121 y 123 para el periodo 1964 al 2020.

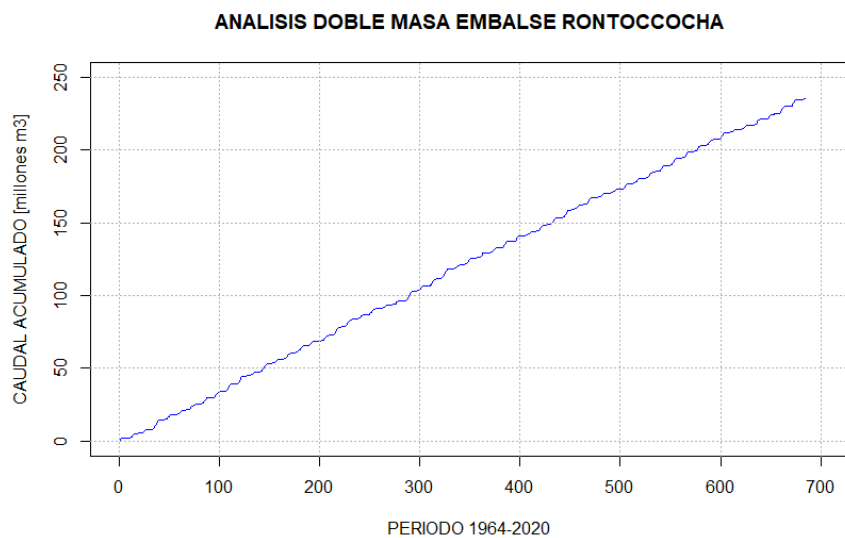


Figura 121. Curva doble masa del embalse Rontoccocha.

Fuente: Elaboración propia.

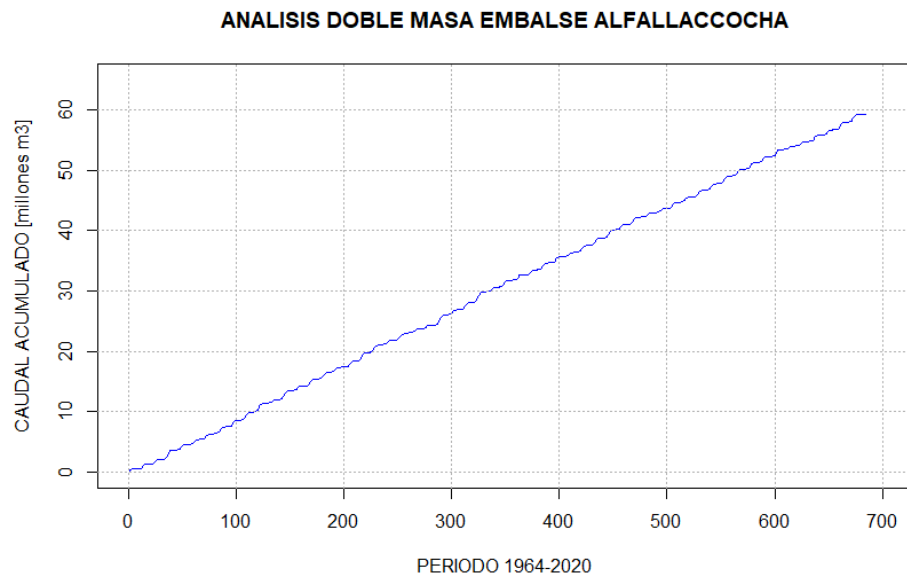


Figura 122. Curva doble masa del embalse Alfallaccocha.
Fuente: Elaboración propia.

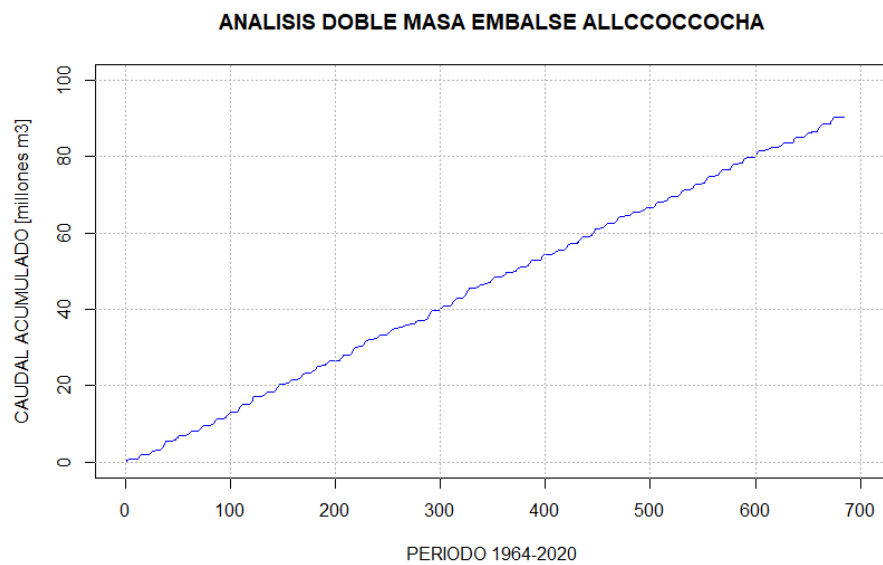


Figura 123. Curva doble masa del embalse Allccoccocha.
Fuente: Elaboración propia.

Donde se observa que las tres cuencas de estudio (Figura 121 al 123) el comportamiento hidrológico de los volúmenes es estable en sus máximos y mínimos de ingreso siguiendo un patrón ascendente de donde se obtiene el caudal mínimo de ingreso al sistema de almacenamiento.

b) Balance hídrico en el sistema de Almacenamiento

Características técnicas y operación de los embalses

Para el presente estudio se realizó la evaluación del Sistema de Almacenamiento Rontoccocha, que opera a los embalses de Alfallaccocha, Allccoccocha y Rontoccocha, el mismo que mostramos el esquema en la Figura 124 siendo el represamiento principal la laguna de Rontoccocha que hidrológicamente recepción los caudales superficiales y subsuperficiales de las lagunas Alfallaccocha y Allccoccocha así como también sus caudales operados en los meses de estiaje según la programación de operación de caudales de demanda (Jodar-Abellan A. 2018).

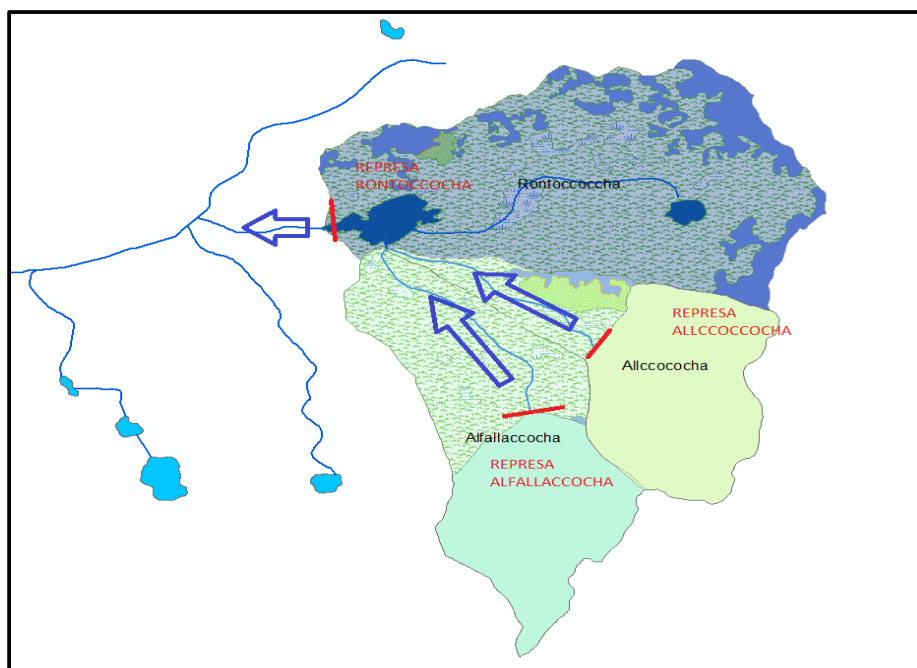


Figura 124. Esquema de funcionamiento del sistema Rontoccocha.

Fuente: Elaboración propia.

Simulación de la operación del embalse del Sistema Rontoccocha.

Para la evaluación se simuló la operación tomándose las consideraciones siguientes:

El área del espejo de agua del embalse se tomó sobre las bases del volumen almacenado medio mensual, cuyo valor depende de la determinación de los volúmenes de las pérdidas por la evaporación y la precipitación.

Las pérdidas por infiltración en las presas de Alfallaccocha y Allccoccocha, no han sido consideradas en el cálculo de la operación del embalse, debido a que la infiltración que pudiera ocurrir en las presas mencionadas recargará el acuífero que van a transmitirse hacia la laguna Rontoccocha debido a que se encuentran en cotas más altas y que son parte de la unidad hidrográfica común entre ellas, en cambio para la presa de Rontoccocha se ha considerado una pérdida anual por infiltración del 1%.



Figura 125. Vista fotográfica de sistema de almacenamiento Rontoccocha

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la determinación de la demanda se ha considerado los acuerdos y derechos de uso de agua, tanto para consumo poblacional (Agua Potable) y de riego (Junta de usuarios) y otros actores relacionados directamente con recurso

hídrico, y que por ello se consideró el uso en el cual el periodo de simulación de operación del embalse se consideró un año (Bareño Moreno, P. J. 2018).

Los caudales utilizados en la simulación para operación de embalse en las tres cuencas, corresponden a los valores obtenidos de las sintéticas obtenidos por el método de Lutz Sholz. Para obtener la simulación se realizó a escala mensual, siendo de manera continua, lineal y secuencial, considerando para cada mes el volumen del mes anterior.

Los valores de ingreso en el proceso de la simulación realizado, es principalmente la oferta hídrica (volúmenes de ingreso) a cada unidad hidrográfica tributaria, considerándose también las demandas que existe aguas arriba, como el caudal ecológico y de manera necesaria las demandas que se generan aguas abajo siendo estos los caudales de ingreso a la presa, formado por los caudales generados para las cuencas Alfallaccocha, Allccoccocha y Rontoccocha para un periodo de análisis de 57 años.

Se indica que las presas Alfallaccocha y Allccoccocha son estructuras que operan en forma constantes desde el mes de julio hasta octubre, distribuyéndose sus caudales en forma proporcional al volumen almacenado que se distribuye por los cuatro meses.

La precipitación sobre el espejo de la laguna corresponde a las precipitaciones de las series sintéticas generadas para las unidades hidrográficas y la evaporación considerada para el embalse, se determinaron a partir estación meteorológica Abancay II, siendo calculados por el método de Hargreaves.

Respecto a las demandas hídricas aguas abajo se consideraron tanto para uso consuntivo (poblacional y riego).

Para determinar el caudal ecológico se tomó el criterio del 10 % del caudal medio mensual generado para la laguna Rontoccocha. Debemos indicar que este caudal ecológico se coberturó en algunos meses por los caudales de tránsito en el vertedero de la presa, también se consideró durante la operación para los sistemas de riego. Y para los meses donde no se pudo coberturar por ninguno de los dos casos se consideró la operación de los caudales aperturando las

compuertas de la presa Rontoccocha. Por lo que de esta manera se garantizó al 100% el flujo del caudal ecológico durante la simulación.

Resultados de la simulación de embalse.

Volúmenes promedio disponibles y Volúmenes promedio almacenados

En la Tabla 51 y Figura 126 se muestra el análisis realizado a partir de los resultados de la simulación de embalse una comparación entre el volumen promedio disponible y el volumen promedio almacenado, así como se estableció un porcentaje de aprovechamiento, lo cual demuestra que la capacidad de almacenamiento elegida es adecuada.

Tabla 51. Volumen promedio disponible y Volumen promedio almacenado

Mes	Volumen promedio mensual disponible	Volumen promedio mensual almacenado	% Aprovechamiento
Ene	1,802,143.78	1,606,764.00	89.16%
Feb	2,706,285.43	1,918,109.30	70.88%
Mar	2,816,540.95	2,013,677.50	71.49%
Abr	2,279,338.50	2,005,708.70	88.00%
May	1,919,339.40	1,915,199.00	99.78%
Jun	1,825,405.25	1,824,598.60	99.96%
Jul	1,900,305.89	1,894,223.20	99.68%
Ago	1,258,053.90	1,258,053.90	100.00%
Sep	386,370.60	386,370.60	100.00%
Oct	405,949.80	405,949.80	100.00%
Nov	477,669.70	477,669.70	100.00%
Dic	738,873.90	738,873.90	100.00%

Fuente: Elaboración propia.

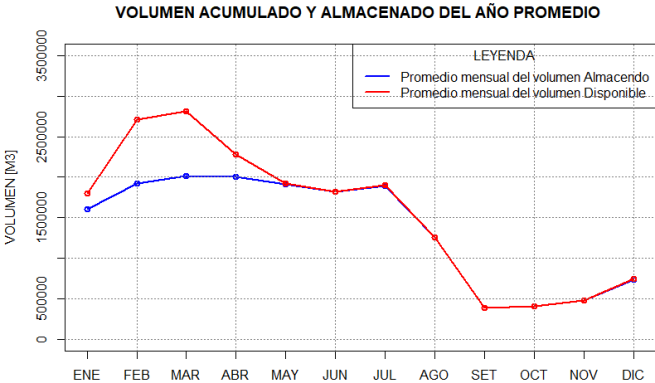


Figura 126. Volumen promedio disponible y Volumen promedio almacenado

Fuente: Elaboración propia.

Indicadores de performance

En la Tabla 52. se muestran los indicadores alcanzados con la simulación de operación de embalse para el sistema de almacenamiento Rontoccocha.

Tabla 52. Indicadores de performance del sistema de Almacenamiento

Indicador	Variable	%	Observación
Déficit de agua potable y riego mensual	I DRM	0.292	La demanda es cobeturada durante 682 meses de 684 meses de operación
Déficit en cobertura del Caudal ecológico	I QE	0.292	El flujo de caudal ecológico es cobeturado en 682 meses de 684 meses de operación
Llenado del embalse (recuperación NAMO)	I RNLA	1.000	El 75 % de los años el embalse Rontoccocha alcanza el nivel de NAMO (es decir se llena)

Fuente: Elaboración propia.

El déficit de la cobertura de la demanda (agua potable y riego) y flujo de caudal ecológico indica valores por debajo de los promedios aceptables (10%), garantizando el recurso hídrico al 99.708% del periodo de operación (684 meses).

El índice de recuperación de niveles en la laguna es de 75%, indicándose que la laguna recuperará su nivel ordinario de operación en 43 años de los 57 años de operación.

Los indicadores muestran que la operación del embalse garantiza adecuadamente los requerimientos y demandas.

Caudales de operación y transitados medios mensuales

A partir de la demanda se determinó caudal de operación para el agua potable será el mismo durante todo el año promedio (52 l/s), este se empalmará a la línea de conducción existente (ver Tabla 53 y figuras 127 y 128).

El Caudal ecológico será cobeturado en parte por el caudal transitado por el vertedero de excedencias y caudal operado para riego. En los meses donde no haya cobertura, se incrementará u operará por la compuerta de riego. En tal sentido, la compuerta de riego operara los caudales necesarios para riego y el caudal operado para cubrir el caudal ecológico (ver Tabla 53 y figuras 127 y 128)

El caudal operado por la compuerta principal será la suma de los caudales a ser operados en la válvula de agua para riego más los caudales operados por la válvula para agua potable.

Los detalles se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 53. Caudales medios mensuales a ser operados en compuerta.

Mes	Caudal operado para agua potable [l/s]	Caudal operado para riego [l/s]	Caudal ecológico [l/s]	Caudal transitado por el vertedero [l/s]	Caudal necesario a operar para cubrir el Q_E [l/s]	Caudal operado por la compuerta para riego [l/s]	Caudal operado por la compuerta para agua potable [l/s]	Caudal operado por la compuerta principal [l/s]
Ene	52.00		20.00	2.00	18.00	18.00	52.00	70.00
Feb	52.00		24.00	73.00			52.00	52.00
Mar	52.00		22.00	166.00			52.00	52.00
Abr	52.00		12.00	93.00			52.00	52.00
May	52.00		9.00	65.00			52.00	52.00
Jun	52.00		7.00	35.00			52.00	52.00
Jul	52.00	142.00	5.00			142.00	52.00	194.00
Ago	52.00	365.00	4.00	0.00		365.00	52.00	417.00
Sep	52.00	376.50	3.00	0.00		376.50	52.00	429.00
Oct	52.00		4.00	0.00	4.00	4.00	52.00	56.00
Nov	52.00		6.00	0.00	6.00	6.00	52.00	58.00
Dic	52.00		10.00	0.00	10.00	40.00	52.00	92.00

Fuente: Gobierno Regional de Apurímac, 2013

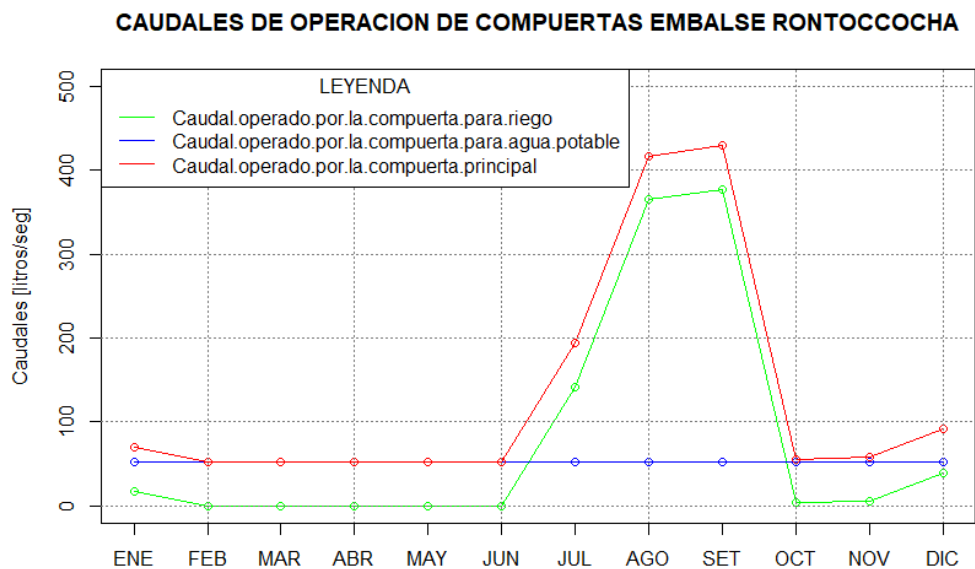


Figura 127. Caudales de operación de compuertas en el embalse Rontoccocha

Fuente: Gobierno Regional de Apurímac, 2013

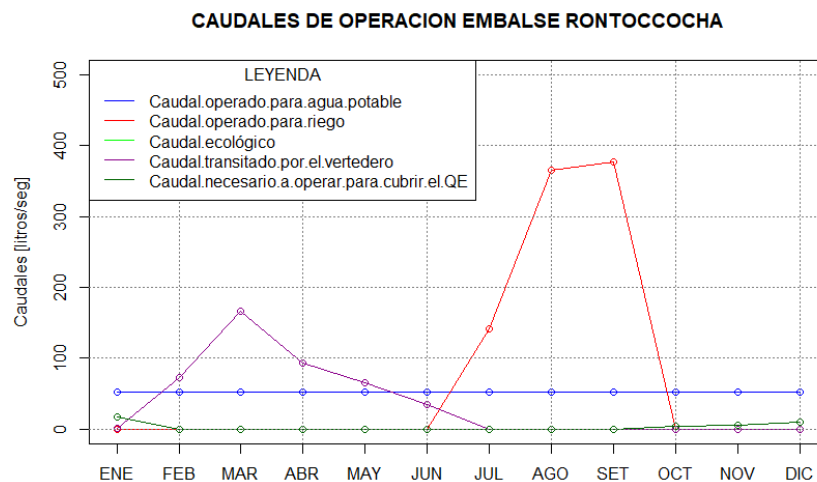


Figura 128. Caudales de operación en el embalse Rontoccocha

Fuente: Gobierno Regional de Apurímac, 2013

Operación de embalse en las cuencas de estudio

Finalmente se obtuvo la simulación de la operación de embalse para las tres cuencas de estudio para el periodo de 1964 a 2020, cuyo comportamiento de los volúmenes presentamos en las figuras 129 al 131 para las tres cuencas de análisis.

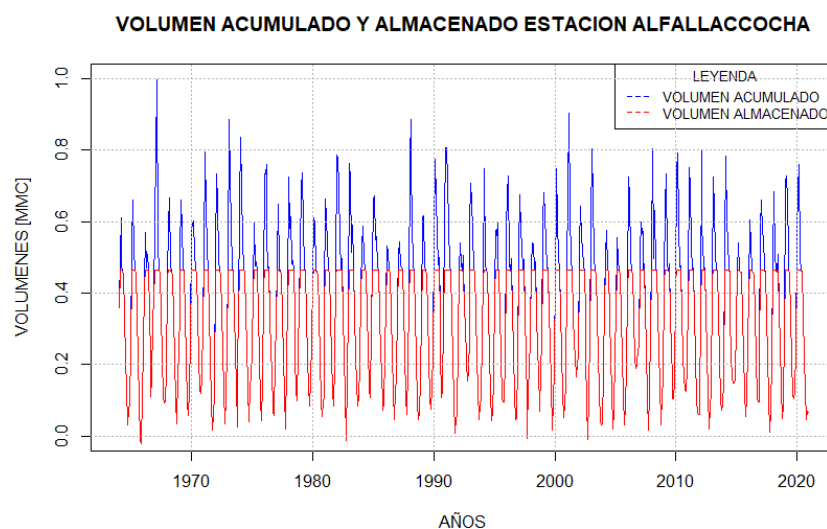


Figura 129. Simulación de operación de embalse para la cuenca Alfallaccocha.

Fuente: Elaboración propia.

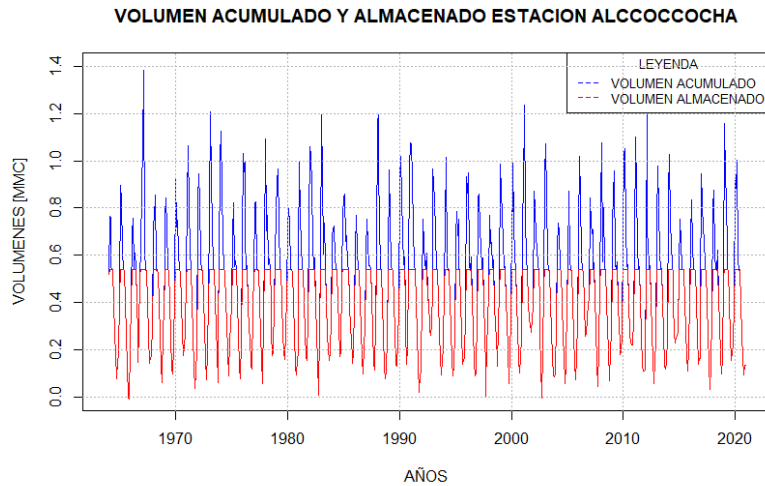


Figura 130. Simulación de operación de embalse para la cuenca Allcoccocha.
Fuente: Elaboración propia.

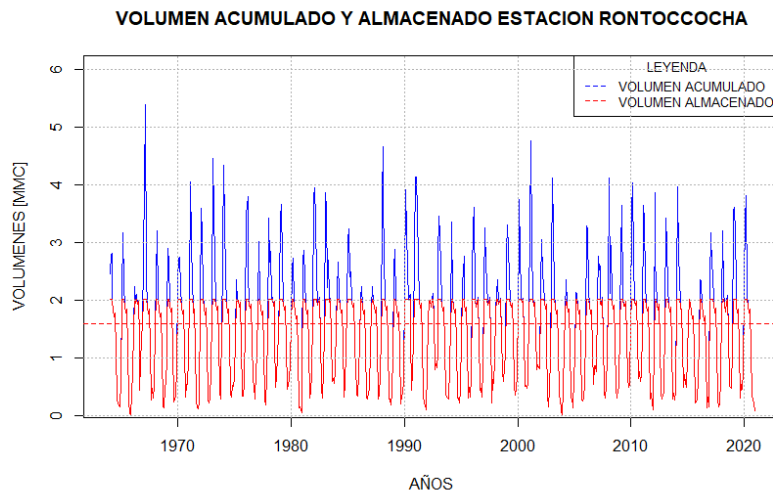


Figura 131. Simulación de operación de embalse para la cuenca Rontoccocha
Fuente: Elaboración propia.

Teniendo como resultado principal que el volumen que generan las precipitaciones en toda la cuenca de influencia de la laguna Rontoccocha tiene un promedio de capacidad de almacenamiento de 2'401,077.16 metros cúbicos en un año normal que principalmente son los volúmenes producidos entre los meses de enero y abril, y que luego de restarles las perdidas por infiltración y evaporación se obtiene dicho volumen.

V. DISCUSION

De acuerdo a Póveda, et al (1996) indica que existe una gran correlación entre el índice de teleconexión ONI con la precipitación en los andes colombianos y que la precipitación en la cordillera Central de la vertiente occidental de Colombiana presenta el mayor número de meses con relaciones lineales significativas ($P < 0.01$ y $P < 0.001$) entre lluvia mensual y ONI, en comparación con la cordillera Oriental sobre vertiente occidental, que es aquella que presenta el menor número meses relacionados significativamente, y que en el presente estudio se pudo verificar la relación del índice de teleconexión ONI con las estaciones del departamento de Apurímac tiene significancia ($P < 0.01$) en 03 de las 09 estaciones sin embargo con el índice de teleconexión ICEN se tiene diferencias significativa de ($P < 0.01$ y $P < 0.001$) en las 09 estaciones consideradas, por lo que se corrobora la influencia de los índices de teleconexión con la cantidad de precipitación acumulada mensual en la región Apurímac.

En el estudio hidrológico realizado para la construcción del represamiento del sistema Rontoccocha por el Gobierno Regional de Apurímac se ha podido establecer que los volúmenes útiles de almacenamiento para cada laguna son los siguientes Rontoccocha 2,018,650 m³, Alfallaccocha 436,873m³, Quequeraccocha (Allccoccocha) 526,409 m³, y que el presente estudio se ha corroborado el volumen de almacenamiento del sistema de lagunas de Rontoccocha, Alfallaccocha y Allccoccocha y que el volumen generado por las lluvias y pequeños manantes es de 2'525,314 m³ que supera la capacidad de Almacenamiento de un año normal.

En otro estudio hidrológico realizado para la construcción del represamiento del sistema Rontoccocha realizado por la Empresa Municipal de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario cuyos autores son Delgado, H. y Ascue, J (2004) realizaron este estudio con fines de represamiento en las lagunas de Rontoccocha, Allccoccocha y Alfallaccocha efectuándose un balance de la oferta y demanda de agua proyectándose un represamiento de 649,675 m³ en la laguna Rontoccocha y 378,836 m³ para el embalse Allccoccocha haciendo un total de 1'028,512 m³ indicando también que el volumen que generan las precipitaciones y los pequeños manantes cercanos a las lagunas del sistema Rontoccocha alcanzan los 2'619,811 m³, y que en el presente estudio realizado

se observó que el volumen promedio de almacenamiento del sistema de lagunas de Rontoccocha, Alfallaccocha y Allccoccocha es de 2'401,077.16 m³ siendo este valor el volumen generado por las lluvias y pequeños manantes descontándose las pérdidas obteniendo así el volumen aprovechable y haciendo el comparativo con los otros estudios, estaría por debajo del volumen planteado por Delgado, H. y Ascue, J (2004). Y por encima del valor que actualmente almacena (Gobierno Regional, 2013) de 2'018.000 lo que podemos indicar que la actual presa de Rontoccocha cuenta con una adecuada oferta hídrica para un año de lluvias normal durante la simulación con información histórica de 57 años es decir del año 1964 al 2020.

VI. CONCLUSIONES

- Se ha podido establecer con ayuda del programa Rstudio la agrupación de datos de la precipitación en función a los eventos de las fases ENOS en tres grupos como son El niño, La niña y Neutro en las nueve estaciones pluviométricas con los cuales se ha podido realizar diversos análisis estadísticos y gráficos realizando un análisis exploratorio de datos a nivel multianual y mensual.
- Con los datos agrupados se pudo observar que el índice de teleconexión ICEN tiene influencia en la precipitación en las nueve estaciones consideradas, con significancias de 90, 95 y 99% lo que indica que los promedios y las desviaciones estándar de los grupos son diferentes. Mientras que el índice ONI solo ha presentado significancia en tres estaciones con significancia del 95%. Así mismo se pudo observar y determinar a través de un análisis de regresión lineal que los 02 índices de teleconexión ONI e ICEN estos muestran una ligera tendencia lineal de variación de la temperatura superficial del mar y la cantidad de precipitación acumulada mensual.
- Los índices de teleconexión pueden ser empleado como una herramienta para conocer el posible impacto del ENSO (El Niño - La Niña) sobre las zonas altas donde se ubican los embalses durante los meses históricamente conocidos como los de menor precipitación.
- Considerando la variabilidad según el índice de teleconexión ICEN se procedió a completar los datos de las series incompletas en tres grupos para ello se identificó el mes y el año del dato faltante y se completó la serie con el método de Thomas y Fiering obteniendo los valores correspondientes en el grupo correspondiente y de igual manera se consideró para la extensión de datos lográndose obtener las series completas.
- Las precipitaciones medias anuales para la unidad hidrográfica Rontoccocha fue de 1026.20 mm, para la unidad hidrográfica Allcoccocha de 1101.60 mm y para la unidad hidrográfica Rontoccocha Alfallaccocha 1098.59 mm con los cuales se procedió a generar los datos de precipitación en cada estación ficta obteniéndose así los datos de precipitación para el periodo 1964-2020

- Para la evaluación de volúmenes se tuvo que generar los caudales a partir de las precipitaciones mensuales en la zona del estudio, utilizando el método de Lutz Sholtz obteniéndose los caudales para cada embalse determinándose así los caudales de ingreso a cada almacenamiento teniendo así los volúmenes de ingreso, así mismo se determinó los volúmenes de salida conociendo las pérdidas por evaporación y demanda de agua para consumo humano y riego con lo que se realizó el balance hídrico.
- Dado que los embalses ya cuentan con una infraestructura respectiva, la simulación de los volúmenes de operación realizado en el presente estudio, han considerado a los volúmenes de almacenamiento de la presa Rontoccocha es de 2'018,000 m³, de la presa Alfallaccocha es de 466,072 m³ y del embalse Allcoccocha es de 541,447 m³, con los cuales se inició la simulación considerando además los volúmenes de entrada que fueron generados a partir de los caudales obtenidos de las precipitaciones areales en las cuencas de estudio que fueron extrapoladas de las estaciones cercanas al proyecto completadas y extendidas en función a los eventos del índice costero el niño ICEN, determinándose que el volumen que generan las precipitaciones y los pequeños manantes aledaños a las lagunas del sistema Rontoccocha alcanza los **2'401,077 m³** durante un año normal y que gran parte de este volumen se convierte en escorrentía superficial, evaporación e infiltración, por lo que según la simulación de embalse obtenida, el volumen acumulado anual supera la capacidad de embalse instalada de la represa Rontoccocha salvo algunos años en el que no llega a llenar el embalse.

VII. RECOMENDACIONES

Debido a que el presente trabajo ha querido recuperar la información de los datos de precipitaciones observadas en las diferentes estaciones del departamento de Apurímac, estas se han tratado de recopilar la mayor cantidad de datos y que se ha podido observar que algunas estaciones cuentan con periodos cortos de información y más aún son inconsistentes por lo que se tiene que corregir y además se tiene que recurrir a otras bases de datos regionalizadas a partir de imágenes satelitales para poder ampliar las longitudes de las series y poder obtener resultados más fidedignos.

Se debe determinar de manera experimental el coeficiente de escorrentía en la zona de estudio ya que los métodos de cálculo ofrecen una gran variabilidad en los resultados, pero con fines de determinación de la precipitación efectiva es necesario calibrar los modelos utilizados en este estudio con un valor fidedigno del coeficiente de escorrentía ya que de esto depende la cantidad de almacenamiento subterráneo y la escorrentía superficial con fines de represamiento.

Para una operación de embalse adecuado se requiere seguir estrictamente las recomendaciones del estudio que propuso el expediente técnico para la construcción del embalse debido a que la demanda de agua puede variar con el tiempo como el aumento de la población y la disminución progresiva de las áreas de cultivo lo cual deberá establecer un nuevo régimen de operación del embalse.

El análisis de la simulación de embalse se realizó con los datos históricos para el periodo de 1964 a 2020, tratando de recuperar la información histórica faltante en ese periodo y que si se requiere analizar proyecciones en el futuro, se deberá utilizar métodos estocásticos combinados con las ecuaciones regresión múltiple, para ello requiere un análisis de mayor cantidad de estaciones lo que nos permitirían pronosticar tendencias y valores de la precipitación a futuro.

REFERENCIAS

- Accostupa Quispe Y. M. (2017) Fenómeno El Niño y su relación con la variabilidad climática en la provincia de cusco, periodo 1964 – 2014. (Tesis de post grado Doctorado) Universidad Andina del Cusco.
- Amaya Meléndez, L. A., Montalvo Alfaro, C. R., Rivas Castro, S. (2019) Análisis de las variaciones anuales de la precipitación en la zona comprendida entre los municipios de Guadalupe y de San Vicente, El Salvador C.A. (Tesis de pregrado) Universidad de El Salvador. San Vicente El Salvador.
- Bappaditya N., Misra,V. & Bastola S. (2014) Validating ENSO Teleconnections on Southeastern U.S. Winter Hydrology. Department of Earth, Ocean and Atmospheric Science, Florida State University, Earth Interactions d Volume 18 Paper No. 15 Page 1.
- Bareño Moreno, P. J., Rincón Caicedo, S. E. & Cortes Escobar, C. D. (2017) Estudio hidrológico y diagnostico ambiental de la cuenca del embalse El Hato como alternativa de captación del sistema de acueducto del municipio de Ubaté. (Tesis de posgrado). Universidad Católica de Colombia. Bogotá Colombia.
- Barrera Escoda, A. (2004) Técnicas de completado de series mensuales y aplicación al estudio de la influencia de la NAO en la distribución de la precipitación en España. (Trabajo de posgrado) Universidad de Barcelona Departamento de Astronomía y Metereología (Bienio 2002-2004). España.
- Bastidas Valdivia, J. M. (2015) Generación de descargas en la cuenca del rio Mantaro mediante el uso de modelos estocásticos de series sintéticas.

(Tesis de pregrado) Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo Perú.

Brown Manrique, Oscar., Gallardo Ballat, Y., Correa Santana, Amaury., & Barrios García, Sergio. (2015) El cambio climático y sus evidencias en las precipitaciones Revista ING. HIDRÁULICA Y AMBIENTAL, VOL. XXXVI, No. 1, Ene-Abr 2015, ISSN 1815–591X, RNPS 2066.

Condori Sancho B. R. (2018) Análisis del comportamiento de las precipitaciones en la cuenca del río Huancané en condiciones de desarrollo del fenómeno del niño y la niña, 1965 – 2017. (Tesis de pre grado) Universidad Nacional del Altiplano. Puno Perú

Corporación Andina de Fomento CAF. (2017) Lineamientos sobre Ambiente y Cambio Climático de CAF Dirección Corporativa de Ambiente y Cambio Climático. Banco de Desarrollo de América Latina Versión 01, 06 de enero de 2017 LN / DACC – 029.

Delgado Olivera, H. & Ascue Cuba, J. C. (2004) Estudio de Factibilidad de la Construcción de Presas del Sistema de Lagunas Rontoccocha. (Estudio de Factibilidad). Empresa Municipal de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Abancay EMUSAP S.A. (mayo 2004). Abancay Perú.

Di Liberto, T., (2018) Changes in ENSO impacts in a warming world. Web Page NOAA, Climate.gov. Science & information for a Climate-smart nation <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/changes-enso-impacts-warming-world>.

Garrote, L., Bianucchi, P., & Sordo-Ward, A. (2010) Análisis del efecto regulador de los embalses bajo escenarios de cambio climático. Punta del Este,

Uruguay. XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica Punta del Este, Uruguay.

Giler-Ormaza, A., Zambrano Navarrete, X. A., Chila Zambrano, J. L., Arcentales Vera, D. A., Guadamud Sánchez, J. P., Félix Mera, J. E., Caicedo Toro, M. D. & Alarcón Llor J. R. (2019) Análisis del comportamiento hidrológico de cuencas hidrográficas tropicales utilizando índices: estudio de caso en la región costa del Ecuador. Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Revista Terra Nueva Etapa. ISSN Electrónico 2542-3266.

Gobierno Regional de Apurímac (2013) Gestión Integral de los Recursos Hídricos de la microcuenca del río Mariño. (Expediente Técnico) Unidad Ejecutora 004 Pro Desarrollo Apurímac - CES Consulting Engineers Salzgitter GmbH (abril 2013). Abancay Perú.

Herrera Quispe, J. A. (2013) Modelo estocástico a partir de razonamiento basado en casos para la generación de series temporales. (Tesis de doctorado) Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa Perú.

Jodar-Abellan, A., Ruiz M. & Melgarejo J. (2018) Evaluación del impacto del cambio climático sobre una cuenca hidrológica en régimen natural (SE, España) usando un modelo SWAT Revista Mexicana de Ciencias Geológicas v. 35, núm. 3, 2018, p. 240-253.

Huang, B., Horne, P. (2017) Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERSSTv5), Upgrades, validations, and intercomparisons. J. Climate, doi: 10.1175/JCLI-D-16-0836.1

Kyung-Sook, Y., June-Yi, L., Timmermann, A., Stein, K., Stuecker, M. F., Fyfe J. C. & Eui-Seok Chung (2021) Increasing ENSO–rainfall variability due to

changes in future tropical temperature–rainfall relationship. Communications Earth & Environment volumen 2, Article number: 43 (2021).

Latinez, K. (2010) Determinación de la predictibilidad de las lluvias en Huayao mediante el análisis de correlación utilizando las variables ERSST y PDO. Instituto Geofísico del Perú Investigación en Prevención de Desastres Naturales XVII Encuentro Científico Internacional de verano ECI2010v “Ronald Woodman Polli” Del 05 al 08 de enero de 2010. Lima Perú

Lavado Casimiro, W. S., Labat, D., Ronchail, J., Espinoza, C., & Loup Guyot, J. (2012) Trends in rainfall and temperature in the Peruvian Amazon-Andes basin over the last 40 years (1965-2007). Publicado por John Wile & Sons, Ltd.

León Altuna, K. B. (2014) Análisis especio-temporal de las precipitaciones y caudales durante los eventos El Niño (1982-83 y 1997-98) en la costa norte peruana. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional Agraria la Molina Lima Perú.

Loyo Melchor, R. (2015) Teleconexiones de índice océano-atmosféricos del El Niño/oscilación del sur (ENOS) a las anomalías de precipitación y temperatura en México. (Tesis de post grado) Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Medina Rivera, R. D. (2008) Estimación estadística de valores faltantes en series históricas de lluvia. (Tesis de posgrado) Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.

- Mejía Medina, G. F. (2017) Influencia del cambio climático en los caudales mensuales de la cuenca río Verde. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa Perú.
- Menacho Casimiro, E. & Dávila Arriaga, C. (2018) Influencia del Niño-Oscilación del sur (ENOS) en la ocurrencia de heladas en el altiplano peruano. *Anales Científicos*, 79 (1): 70 - 80 (2018) ISSN 2519-7398 (Versión electrónica) DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v79i1.1142> Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú.
- Muñoz Marín, C. (2008) Análisis de la variabilidad en series hidrometeorológicas en una cuenca de cabecera del río segura: cuenca del río Mundo. (Tesis de pregrado) Universidad Politécnica de Cartagena. Colombia.
- Olave Cuadra, P. E. (2015) Generación de montos diarios de precipitación a partir de las series observadas rellenadas con datos de reanálisis. (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- Ontaneda Andrade D. F. (2020) Efectos de la variabilidad climática sobre los caudales aportantes al embalse Salve Faccha perteneciente a la red de agua potable Papallacta. (Tesis de post grado Maestría) Universidad Simón Bolívar Sede Ecuador.
- Poveda, G., & Mesa, O. J. (1996) Las fases extremas del fenómeno ENSO (El Niño y La Niña) y su influencia sobre la hidrología de Colombia. Universidad Nacional de Colombia. *Revista Ingeniería Hidráulica en México*. Vol. XI, Núm. 1, págs. 21-37.
- Pérez-Campomanes G. & Lannacone J. (2020) Impacto del cambio climático en la disponibilidad de las aguas superficiales en Sudamérica. *PAIDEIA XXI*

Vol. 10 N°1, Lima, enero-junio 2020, pp.173-202 ISSN versión Impresa: 2221-7770; ISSN Versión electrónica: 2519-5700.

Programa Hidrológico Internacional, PHI UNESCO (2006) Guía metodológica para la elaboración de mapas de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe. Organización de las Naciones Unidas para la Ciencia y la Cultura. PHI-VI Documento Técnico N°03. Montevideo, Uruguay

Quiroz Mosquera, G. C. (2018). Pronóstico categórico de precipitaciones basado en los valores del índice ICEN y ONI para el Perú. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional Agraria la Molina Lima Perú.

Ramírez-Builes, V. H. & Jaramillo-Robledo A. (2009) Relación entre el índice oceánico de el niño y la lluvia, en la región andina central de Colombia. Revista Cenicafe 60(2): 161-172. 2009 Colombia.

Ramírez C., Vélez U. Jorge J., & Peña Q. Andrés J. (2018) Analizando índices climáticos para predecir la lluvia mensual en una región agrícola de los andes del norte (Caldas, Colombia). Revista Investigaciones Geográficas N°55, Pág. 111-126.

Rivera Ccaccachahua, M. (2018) Teleconexiones-ENSO para el pronóstico estacional de lluvias y el rendimiento del cultivo de papa en el departamento de Junín. (Tesis de pre grado) Universidad Nacional Agraria la Molina.

Sánchez Martínez, F. J. (2008) Cálculo de la precipitación areal mediante sistemas de información geográfica Escuela de Negocios EOI Master en Ingeniería Medioambiental y Gestión del Agua 2007/2008 Modulo III.

- Sedano Cruz, R. K. (2017) Influencia de la variabilidad climática y factores antrópicos en los extremos hidrológicos en el Valle Alto del río Cauca, Colombia. (Tesis Doctoral) Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Silva Vidal, Y., Trasmonte, G. & Giráldez, Lucy. (2010) Variabilidad de las precipitaciones en el valle del río Mantaro. Instituto Geofísico del Perú.
- Tarazona Santos, N. E. (2005) Generación de descargas mensuales en subcuencas de la cuenca del río Santa utilizando el método de Lutz Scholz (Tesis de pregrado) Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima Perú.
- Takahashi, K. (2014) El Índice Costero El Niño (ICEN): historia y actualización. trabajo de investigación repositorio del IGP. Lima Perú.
<http://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/4639>
- Takahashi, K., Mosquera, K. y Reupo, J. (2014). El Índice Costero El Niño (ICEN): historia y actualización. Boletín técnico: Generación de modelos climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del Fenómeno El Niño, 1 (2), 8-9.
- Velasco Hernández, M., Morales Acoltzi, T., Estrella Chulim, N. G., Díaz Ramos, R., Juárez Sánchez, J. P., Hernández Vázquez, M. & Bernal Morales, R. (2015) Tendencias y variabilidad de índices de cambio climático: enfoque agrícola en dos regiones de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.6 Núm.7 28 de septiembre - 11 de noviembre, 2015 p. 1587-1599.
- Ventura-León, J. L. & Caycho, T. (2017) Q de Cohen: Comparación de Correlaciones entre Muestras Independientes en base a Urzúa et al. (Tesis de postgrado) Universidad Privada del Norte. Lima Perú.

ANEXOS

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN Y LOS ÍNDICES DE TELECONEXIÓN “ENOS” PARA LA EVALUACIÓN HIDROLÓGICA DE LA PRESA RONTOCOCHA, ABANCAY - 2021						
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
PROBLEMA GENERAL ¿Existirá alguna relación entre la precipitación pluvial y los índices de teleconexión “ENOS”, para la evaluación hidrológica de la presa Rontoccocha, Abancay – 2021?	OBJETIVO GENERAL Analizar la relación de la precipitación y los índices de teleconexión “ENOS” para la evaluación hidrológica de la presa Rontoccocha, Abancay - 2021.	HIPOTESIS GENERAL Existe una relación significativa entre la precipitación y los índices de teleconexión “ENOS” para poder realizar la evaluación hidrológica de la presa Rontoccocha, Abancay – 2021.	VARIABLES INDEPENDIENTES Índices de teleconexión Precipitación Pluvial	Índice Costero El Niño (ICEN) Índice Oceánico El Niño (ONI) Precipitación pluvial	Promedio trimestral de la variación de la temperatura superficial del mar (Región Niño 1-2) en °C Promedio trimestral de la variación de la temperatura superficial del mar (Región Niño 3-4) en °C Es la medición de la lluvia acumulada mensual en una estación meteorológica o pluviométrica en (mm)	El instrumento para la recolección documental de datos de la precipitación es la ficha de registro de datos del SENAMHI, ENFEN y NOAA, con sus respectivos formatos en el que se publican la información histórica, ya sea datos diarios, mensuales y anualizados, por lo que en esta tesis se consideró la información histórica de datos mensuales
PROBLEMAS ESPECÍFICOS 1. ¿Existirá alguna variación entre los grupos de precipitación, según la condición ENOS de los índices de teleconexión para el periodo de 1964-2020? 2. ¿Qué tipo de relación existirá entre los índices de teleconexión (INO e ICEN) y la precipitación pluvial en la zona de influencia del estudio para el periodo de 1964-2020? 3. ¿Se podrá obtener datos de precipitación con modelos estocásticos en la zona del estudio tomando en cuenta la relación que existe entre los índices de teleconexión y la precipitación pluvial en la zona de influencia del estudio para el periodo de 1964-2020? 4. ¿Se podrá evaluar el comportamiento hidrológico de los volúmenes generados y la capacidad de regulación del embalse de la presa Rontoccocha, Abancay – Apurímac?	OBJETIVOS ESPECÍFICOS 1. Identificar los grupos de precipitación, según la condición ENOS de los índices de teleconexión para el periodo de 1964-2020. 2. Determinar la relación que existe entre los índices de teleconexión (ENOS) y la precipitación pluvial en la zona de influencia del estudio para el periodo de 1964-2020. 3. Generar datos de precipitación con modelos estocásticos en la zona del estudio tomando en cuenta la relación que existe entre los índices de teleconexión y la precipitación pluvial en la zona de influencia del estudio para el periodo de 1964-2020. 4. Evaluar el comportamiento hidrológico de los volúmenes generados y la capacidad de regulación del embalse de la presa Rontoccocha, Abancay - Apurímac.	HIPOTESIS ESPECÍFICAS 1. Existe variación entre los grupos de precipitación, según la condición ENOS de los índices de teleconexión para el periodo de 1964-2020. 2. Existe relación significativa entre los índices de teleconexión (ENOS) y la precipitación pluvial en la zona de influencia del estudio para el periodo de 1964-2020. 3. Los modelos estocásticos nos permite obtener datos de precipitación en la zona del estudio tomando en cuenta la relación que existe entre los índices de teleconexión y la precipitación pluvial en la zona de influencia del estudio para el periodo de 1964-2020 4. La evaluación nos permite conocer el comportamiento hidrológico de los volúmenes generados y la capacidad de regulación del embalse de la presa Rontoccocha, Abancay – Apurímac.	VARIABLES DEPENDIENTES Fases del ciclo ENOS (El niño-oscilación del sur) Relación que existe entre los índices de teleconexión (ENOS) y la precipitación pluvial Precipitación areal en la zona de influencia del estudio para el periodo de 1964-2020. Volumen de embalse de la presa Rontoccocha.	Niña Niño Neutro Coeficiente de correlación Precipitación Areal (lluvia acumulada mensual) Volumen útil de embalse (m3)	Condición de enfriamiento en un valor igual o menor a -0.5 °C de la TSM en las zonas de monitoreo 3-4 y 1-2, medido como el promedio trimestral en °C Condición de calentamiento en un valor igual o mayor a +0.5 °C de la TSM en las zonas de monitoreo 3-4 y 1-2, medido como el promedio trimestral en °C Condición de calentamiento o enfriamiento en valores mayores a -0.5 °C y menores a +0.5 °C de la TSM en las zonas 3-4 y 1-2 de monitoreo, medido como el promedio trimestral en °C Parámetro estadístico de correlación de significancia entre +1 y -1. Es la precipitación generada por métodos estadísticos y estocásticos en una estación meteorológica areal generada en la ubicación de la presa Rontoccocha (mm) Es el volumen de agua producido por los caudales generados en un año normal en la zona de influencia del sistema hídrico de la presa Rontoccocha (m3)	Los instrumentos utilizados para la recopilación de la información se encuentran establecidos por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI, los cuales son utilizados ampliamente en los diversos estudios e investigaciones de los cuales se han recopilado de los estudios, informes, boletines y del portal institucional

ANEXO 2. MATRIZ DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADORES	ESCALA	METODOLOGIA
VARIABLES INDEPENDIENTES						
Índices de teleconexión	Las teleconexiones atmosféricas son cambios en el patrón de circulación atmosférica a nivel global como respuesta a las anomalías convectivas en el Pacífico Ecuatorial (Quiroz, 2018)	Los índices de oscilación del sur, se obtienen de la medición de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) que ocurre en las regiones de monitoreo 1.2 y 3.4 que confirman las características consistentes de los fenómenos oceano-atmosféricos que ocurren en los estos periodos. El valor obtenido es el resultado de promedio trimestral de las variaciones de la temperatura media.	Índice Costero El Niño (ICEN) Índice Oceánico El Niño (ONI)	Promedio trimestral de la variación de la temperatura superficial del mar (Región Niño 1-2) en °C Promedio trimestral de la variación de la temperatura superficial del mar (Región Niño 3-4) en °C	INTERVALO	A. LINEA DE INVESTIGACION: Diseño de obras hidráulicas y saneamiento B. DISEÑO DE INVESTIGACION: No experimental C. TIPO DE INVESTIGACION: Descriptivo - Longitudinal
Precipitación Pluvial	Proceso meteorológico donde el vapor de agua (nubes) se condensa formando gotas de agua precipitando a tierra en forma de lluvia; se mide en un pluviómetro y sus unidades son en milímetros de altura de agua (mm)	La obtención de la precipitación se da en milímetros de agua, o litros caídos por unidad de superficie (m ²), es decir, la altura de lámina de agua recogida en una superficie plana midiéndose en mm o l/m ² . (Villon, 2006)	Precipitación pluvial	Es la medición de la lluvia acumulada mensual en una estación meteorológica o pluviométrica en (mm)		
VARIABLES DEPENDIENTES						D. POBLACION: Mediciones históricas mensuales de la precipitación total mensual de las estaciones de Apurímac periodo 1964-2020
Fases del ciclo ENOS (El niño-oscilación del sur)	"El Niño-Oscilación del Sur", ENOS o ENSO es un patrón climático que consiste en la oscilación de los parámetros meteorológicos del Pacífico Ecuatorial cada cierto periodo de tiempo.	Los grupos o categorías del ENOS se obtienen de las variables usadas como indicadores de los cambios en el océano Pacífico, los cuales son anomalías de la temperatura de la temperatura superficial del mar en el Pacífico central este, denominada Niño 3.4 y en la costa norte del Perú Niño 1.2 y dichas variables establecen las condiciones cálidas y frías para establecer las categorías según el incremento de la temperatura superficial del mar.	Niña Niño Neutro	Condición de enfriamiento en un valor igual o menor a -0.5 °C de la TSM en las zonas de monitoreo 3-4 y 1-2, medido como el promedio trimestral en °C Condición de calentamiento en un valor igual o mayor a +0.5 °C de la TSM en las zonas de monitoreo 3-4 y 1-2, medido como el promedio trimestral en °C Condición de calentamiento o enfriamiento en valores mayores a -0.5 °C y menores a +0.5 °C de la TSM en las zonas 3-4 y 1-2 de monitoreo, medido como el promedio trimestral en °C	NOMINAL	Valores del índice costero El Niño (ICEN) así como del Índice Oceánico de El Niño (ONI) periodo 1964 al 2020.
Relación que existe entre los índices de teleconexión (ENOS) y la precipitación pluvial	El coeficiente de correlación de Pearson es una medida de dependencia lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas.	La relación de dependencia se obtiene a partir de la correlación estadística entre las variables de los índices de teleconexión y las precipitaciones pluviales siendo este un número adimensional.	Coeficiente de correlación	Parámetro estadístico de correlación de significancia entre +1 y -1.		E. MUESTRA: la muestra es de tipo censal ya que se consideró todas las mediciones históricas disponibles.
Precipitación areal en la zona de influencia del estudio para el periodo de 1964-2020.	La precipitación mensual areal es el valor obtenido sobre un área específica, expresada como la altura de la lámina de agua en milímetros (mm)	La precipitación areal mensualizada se obtiene a partir de la regionalización de los datos de precipitación en las estaciones vecinas con series históricas completadas y extendidas para el periodo de análisis.	Precipitación Areal (lluvia acumulada mensual)	Es la precipitación generada por métodos estadísticos y estocásticos en una estación meteorológica areal generada en la ubicación de la presa Rontoccocha (mm)	INTERVALO	F. MUESTREO: Los datos fueron analizados mediante pruebas estadísticas y de correlación lineal
Volumen de embalse de la presa Rontoccocha.	El régimen del comportamiento hidrológico de la precipitación permite la generación de caudales mínimos y máximos para determinar la simulación de embalse para evaluar el volumen útil de la presa.	El volumen útil de almacenamiento se obtiene a partir de la generación de caudales producidos por el régimen hidrológico de las precipitaciones areales generadas en el área de embalse de estudio.	Volumen útil de embalse (m ³)	Es el volumen de agua producido por los caudales generados en un año normal en la zona de influencia del sistema hídrico de la presa Rontoccocha (m ³)		TECNICA: Para el presente estudio la técnica empleada es de tipo documental debido a que los datos tomados son de los registros y reportes del SENAMHI (Estaciones Apurímac), ENFEN, y NOAA.

ANEXO 3. INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS PARA LA PRECIPITACION

REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL ACUMULADA (mm)

Estacion :

Latitud :

Departamento :

Tipo :

Longitud :

Provincia :

Codigo :

Altitud :

msnm

Distrito :[illegible]

ANEXO 4. INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS (ICEN)

REGISTRO DEL ÍNDICE COSTERO EL NIÑO (ICEN)

[illegible]

ANEXO 5. INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS (ONI)

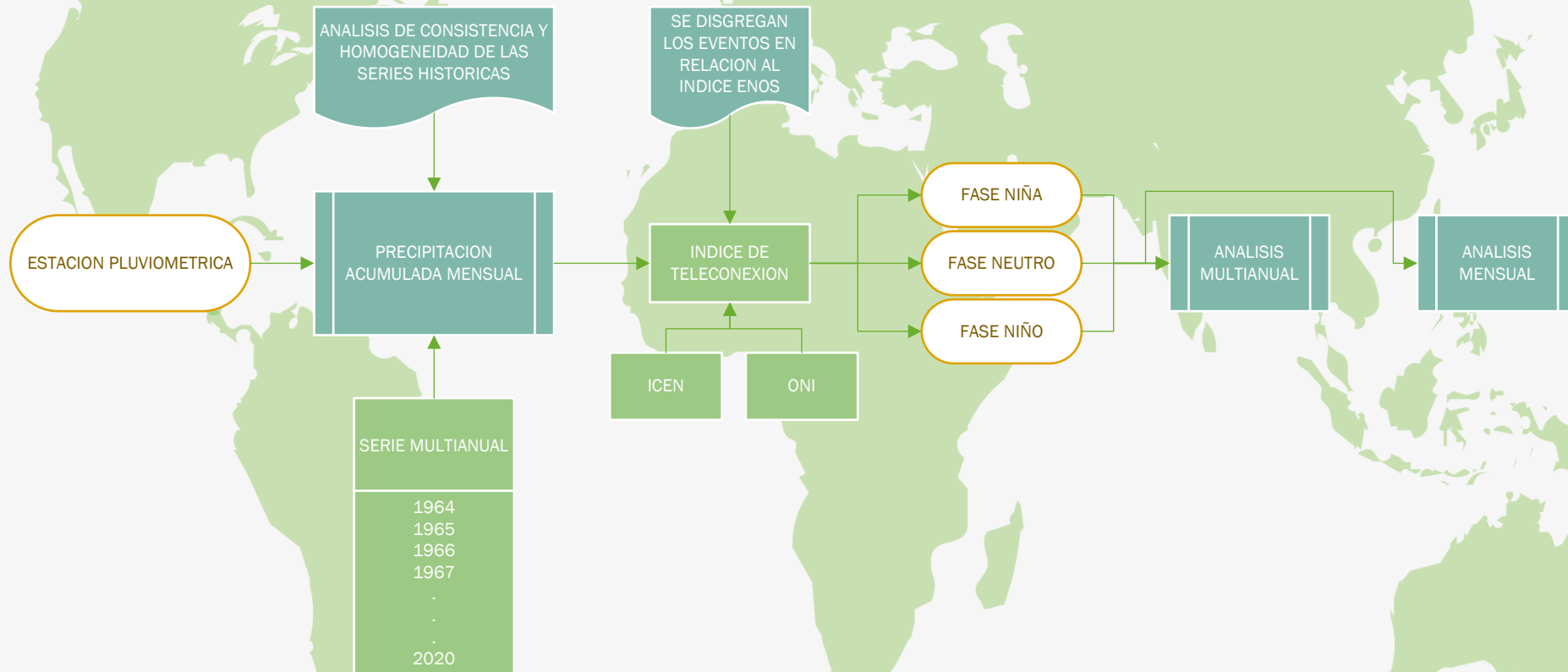
REGISTRO DEL INDICE OCEANICO EL NIÑO (ONI)

[illegible]

METODOLOGIA

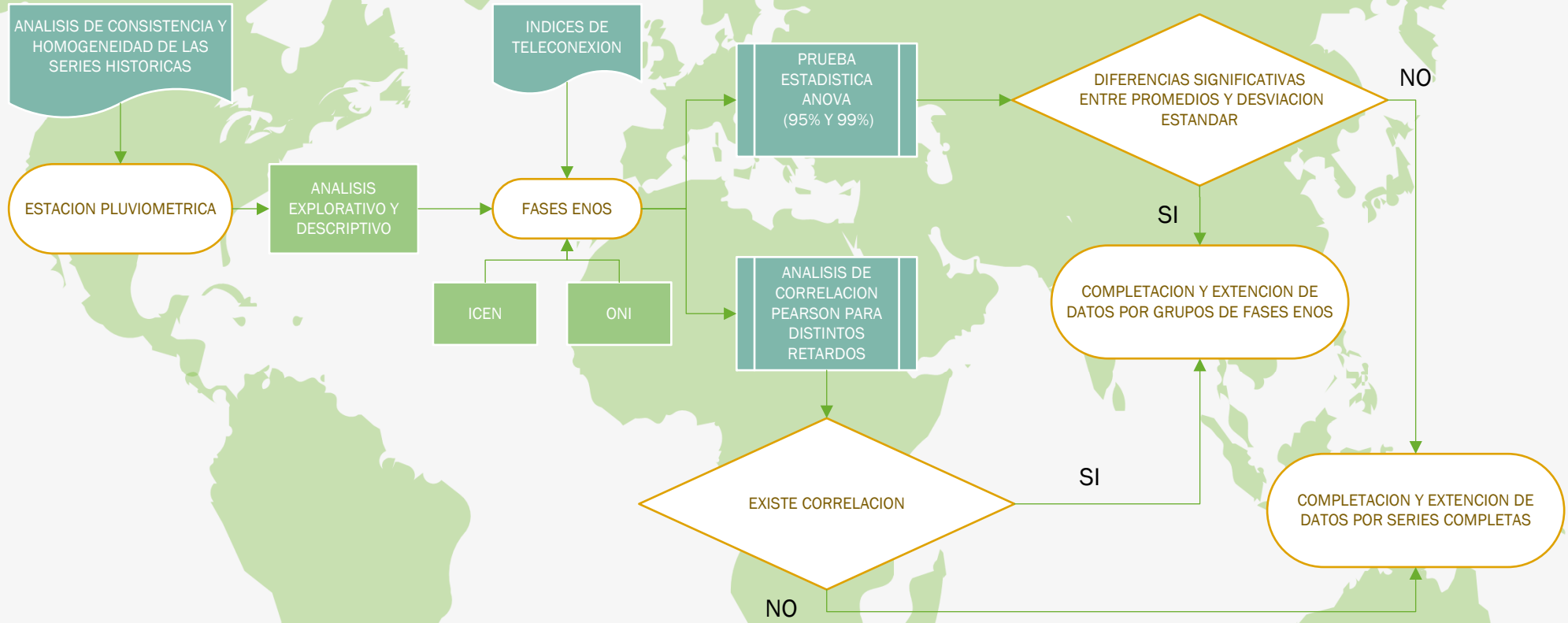
Metodología objetivo específico 1

ANALISIS EXPLORATORIO DE LA PRECIPITACION CON LOS INDICES DE TELECONEXION



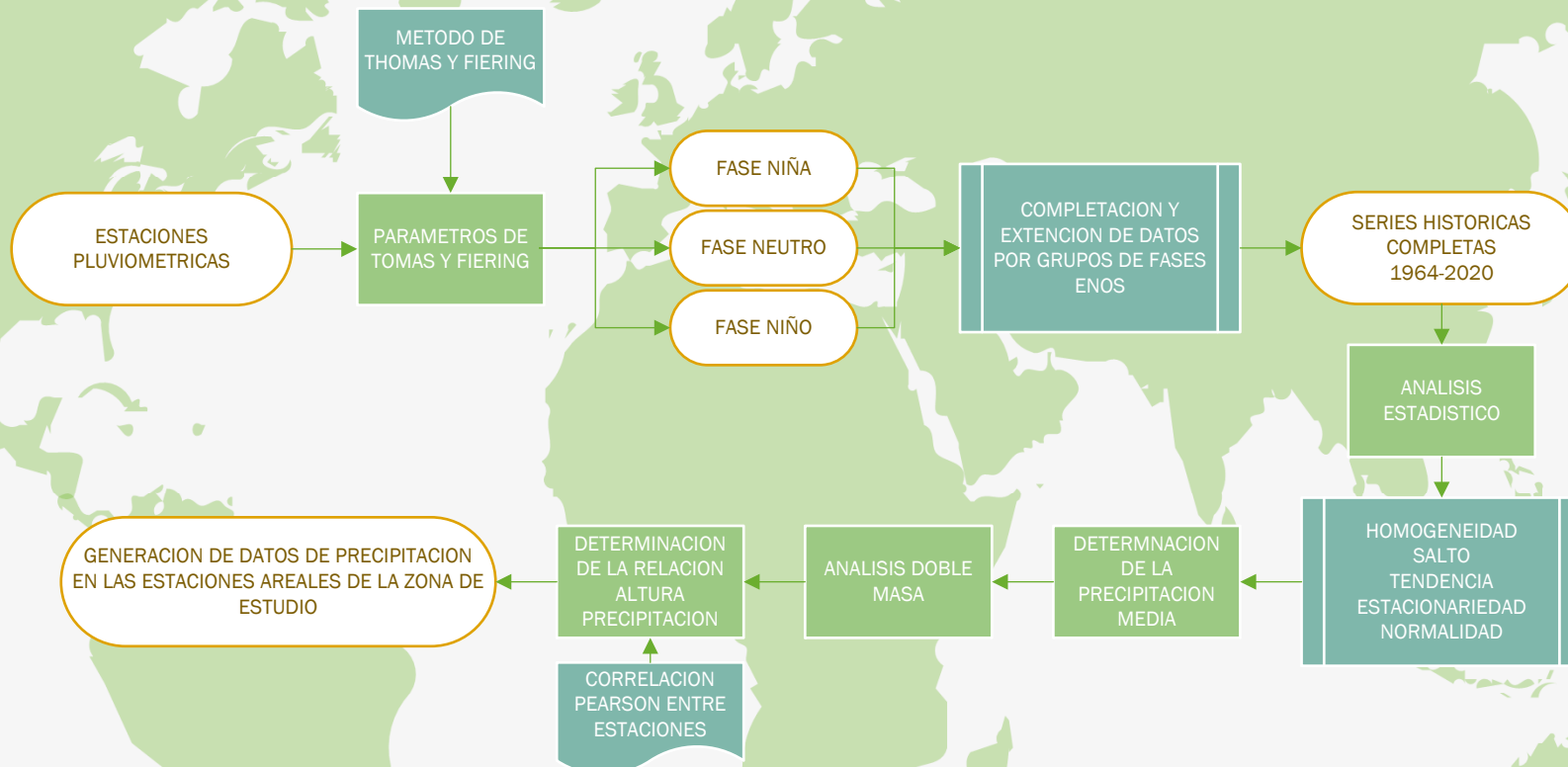
Metodología objetivo específico 2

EVALUACION DE LA RELACION ENTRE LOS INDICES DE TELECONEXION Y LA PRECIPITACION MENSUAL



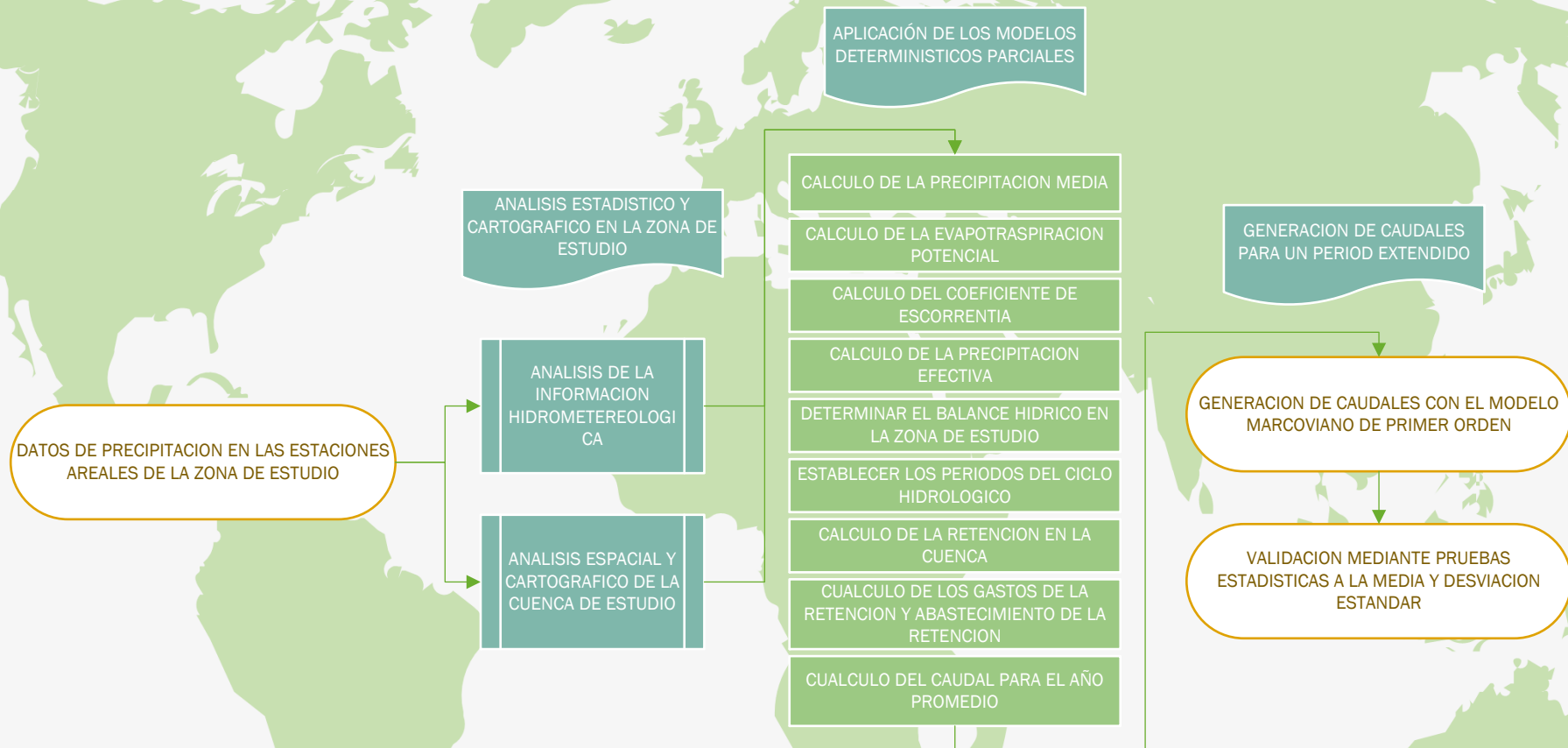
Metodología objetivo específico 3

GENERACION DE DATOS DE PRECIPITACION AREAL EN LA ZONA DEL PROYECTO



Metodología objetivo específico 4

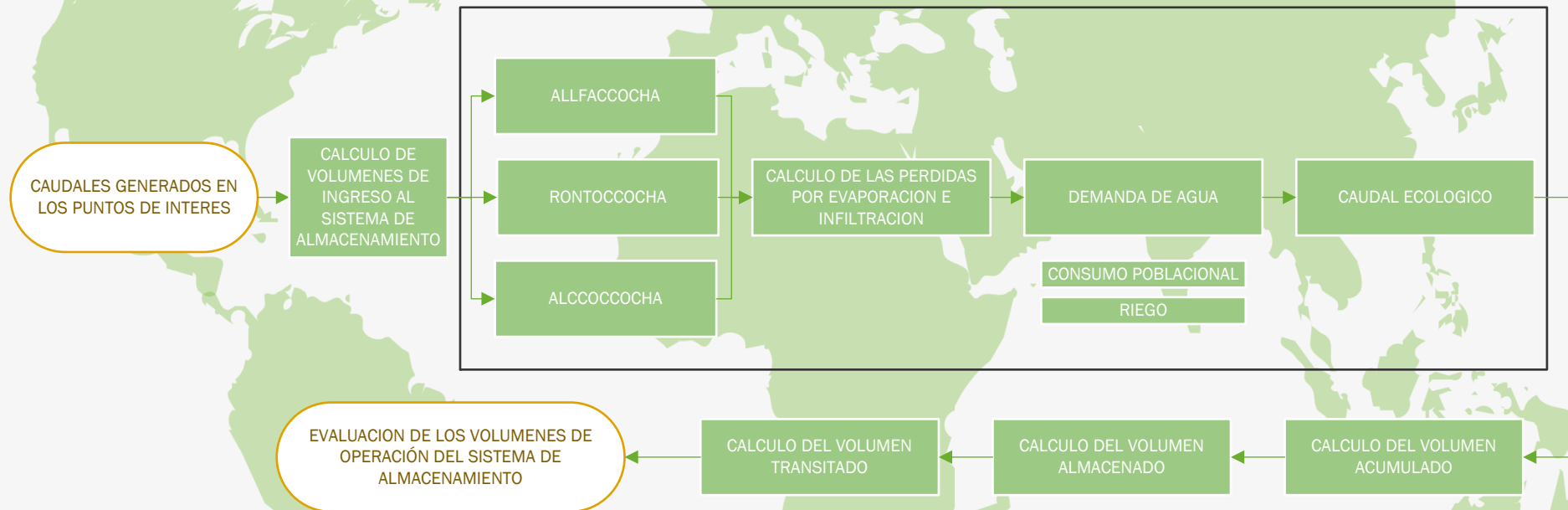
GENERACION DE CAUDALES EN PERIODO EXTENDIDO EN LAS ZONAS DE ESTUDIO



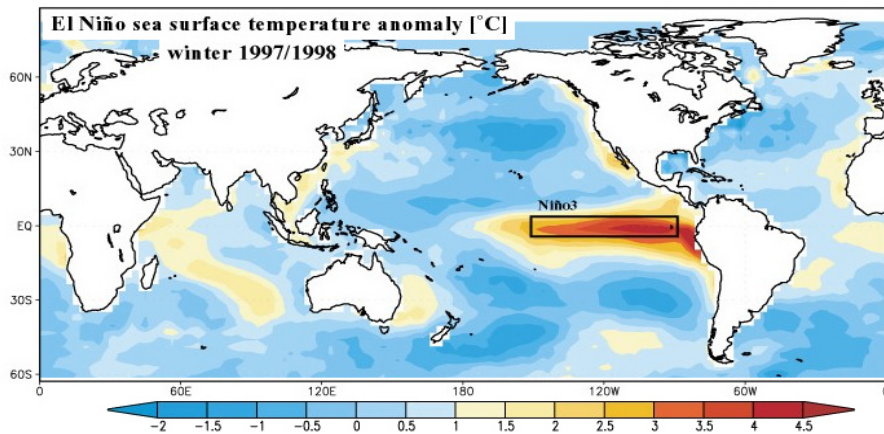
Metodología objetivo específico 4

EVALUACION DE VOLUMENES GENERADOS EN EL EMBALSE RONTOCOCHA

BALANCE HIDRICO EN EL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO (VOLUMENES m3)

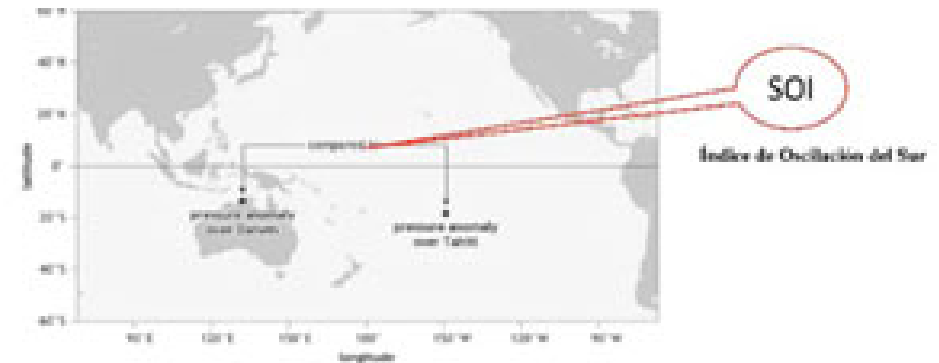


MATERIALES

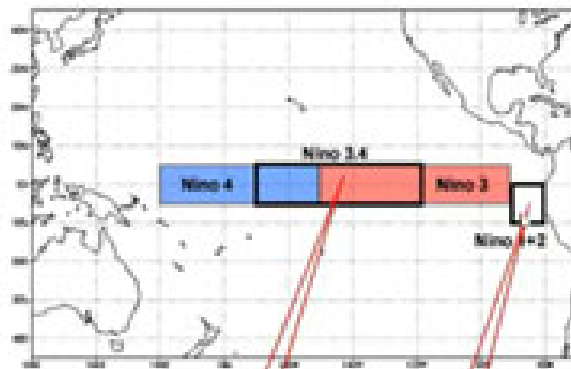


INDICES DE TELECONEXION

Son los cambios en el patrón de circulación atmosférica a nivel global como respuesta a las anomalías convectivas en el Pacífico Ecuatorial (Quiroz, 2018)



Zonas operativas El Niño

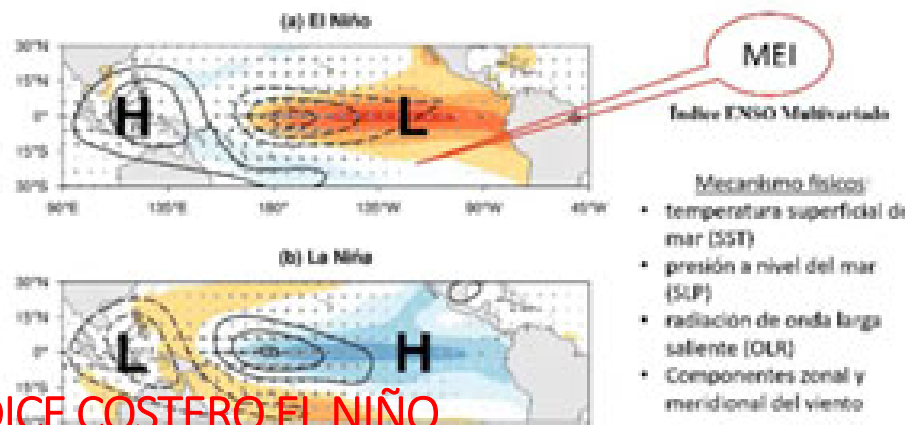


ONI : INDICE OCEANICO EL NIÑO

ONI

ICEN

ICEN : INDICE COSTERO EL NIÑO

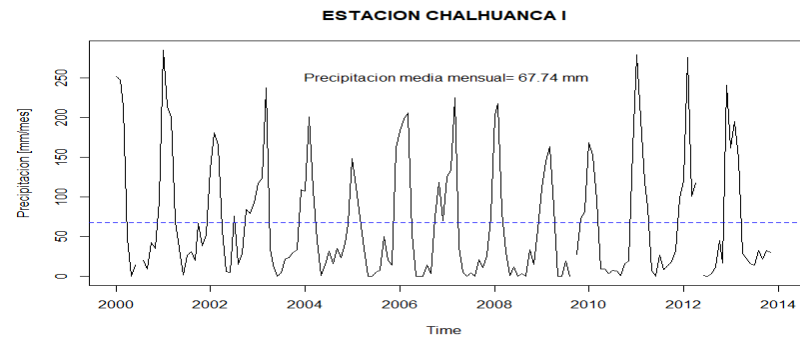




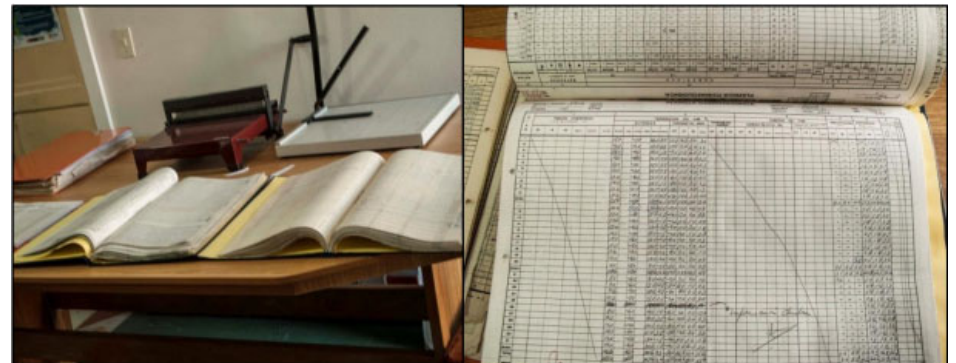
PRECIPITACION



Es la cantidad de agua precipitada sobre la superficie terrestre



INFORMACION DE SERIES HISTORICAS DE PRECIPITACION

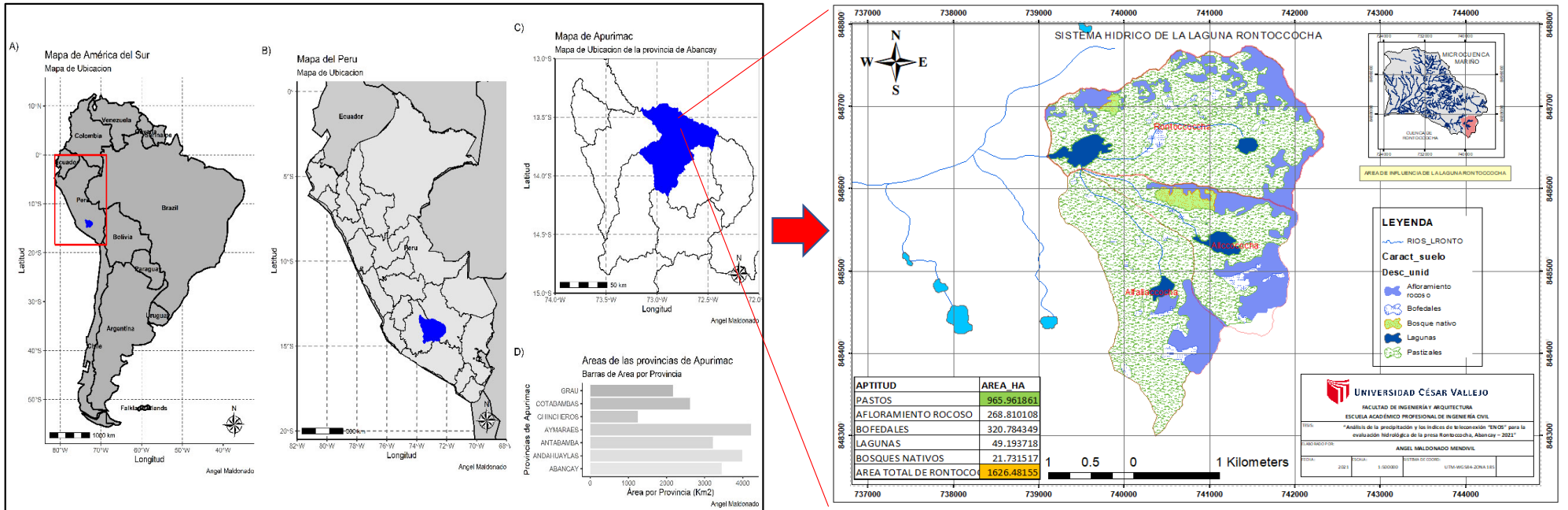


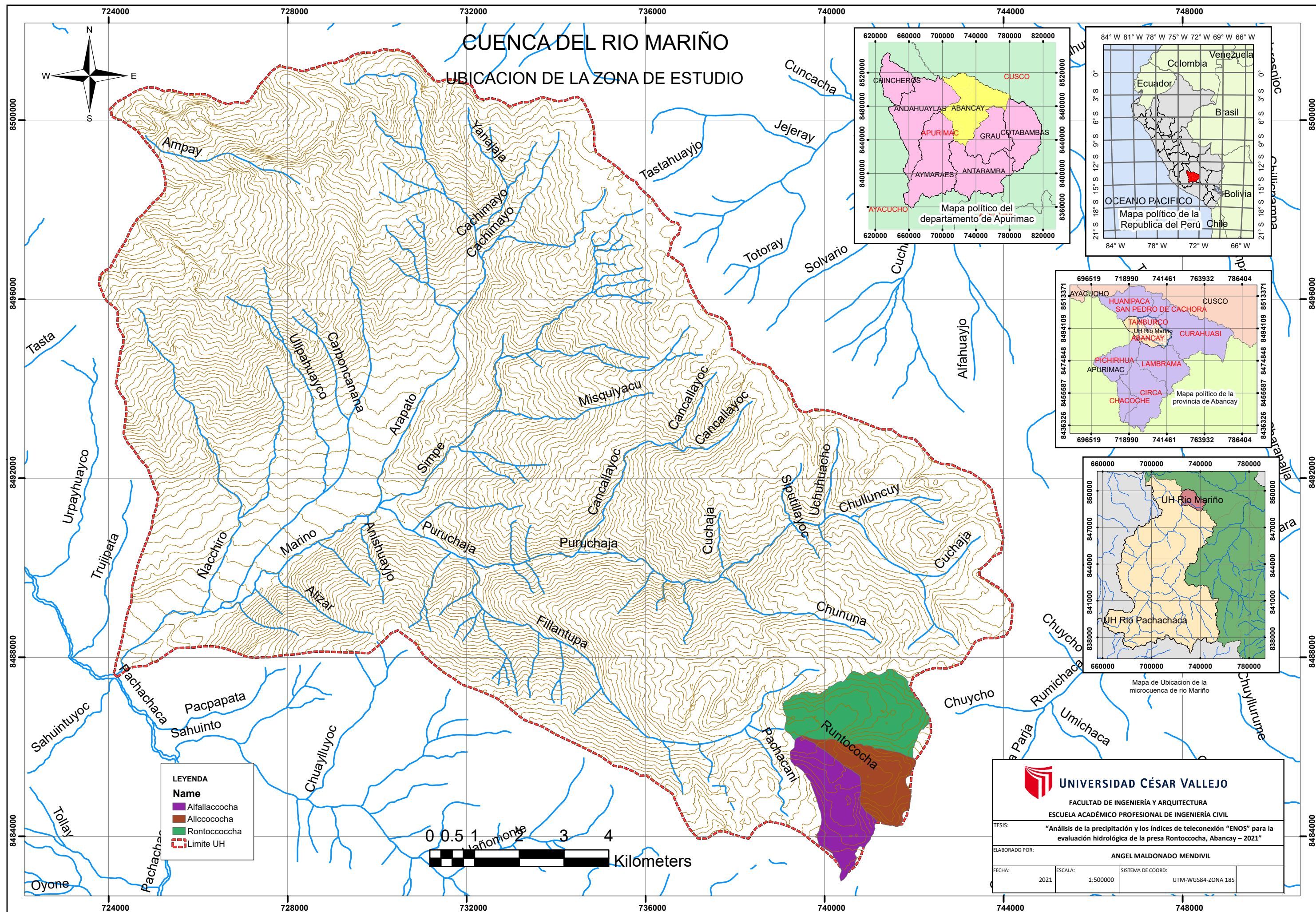
MATERIALES

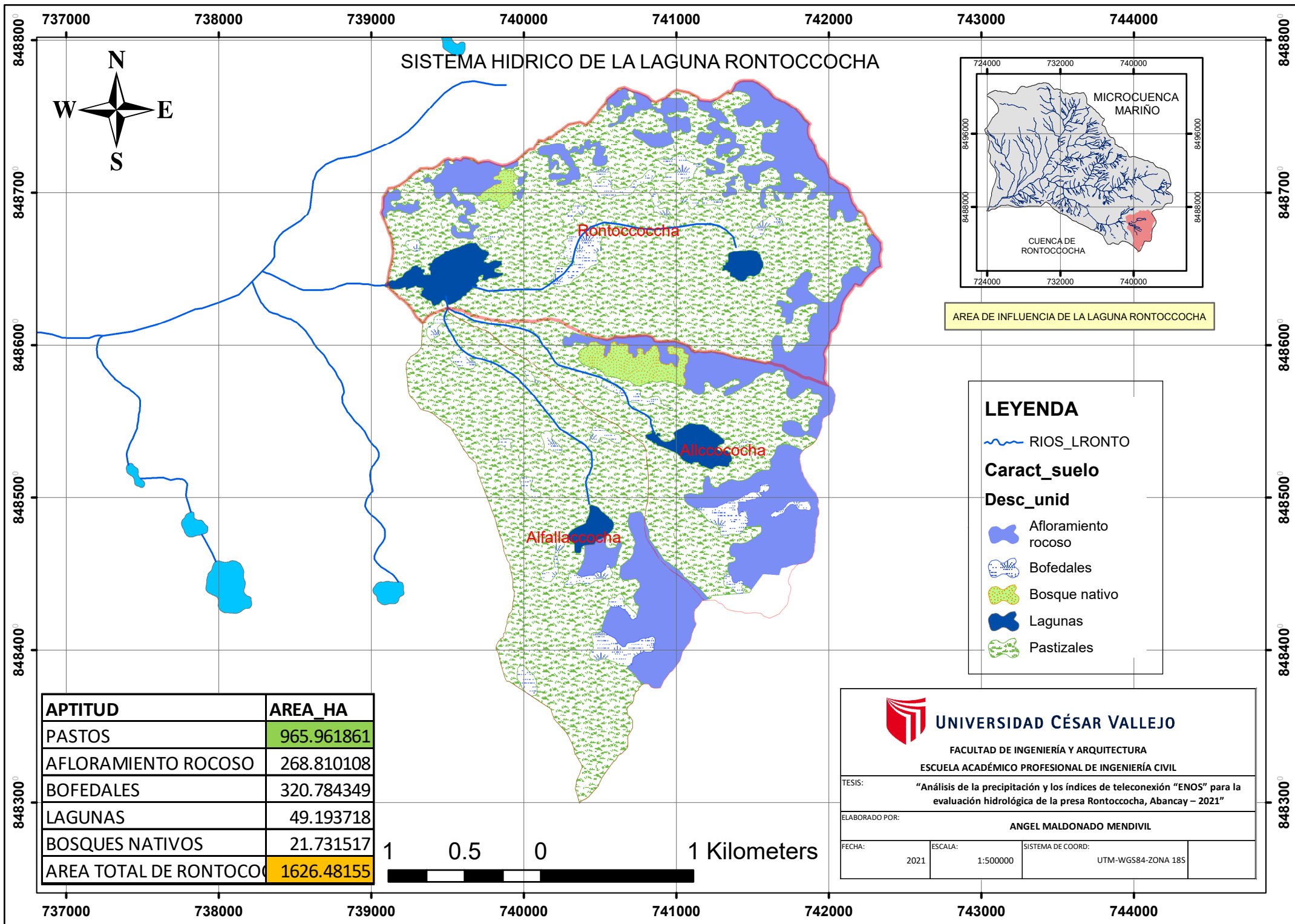
INFORMACION DISPONIBLE

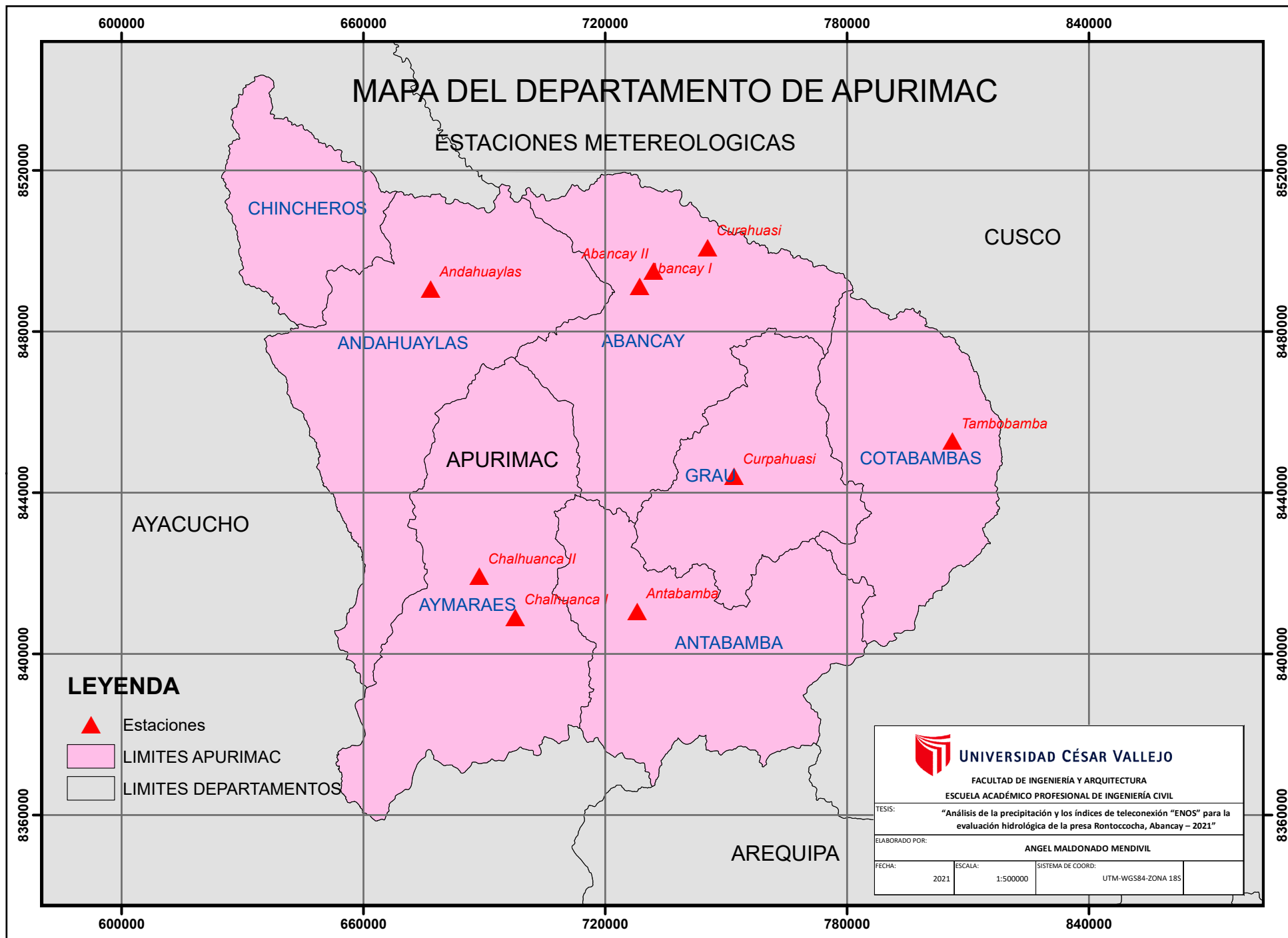
Producto	Periodo	Formato	Fuente
Precipitación acumulada mensual	1964-2020	Documentos	<p>Informacion historica del Servicio Nacional de Metereologia e Hidrologia SENAMHI (Oficinas CUSCO y LIMA)</p> 
Índice Oceánico El Niño (ONI)	1964-2020	*.txt	<p>http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/oni.ascii.txt</p> 
Índice Costero el Niño (ICEN)	1964-2020	*.txt	<p>http://www.met.igp/datos/icen.txt</p> 
Delimitación de cuencas		Shapefile	<p>http://geo2.ana.gob.pe:8080/geonetwork</p>  

UBICACIÓN DEL ESTUDIO



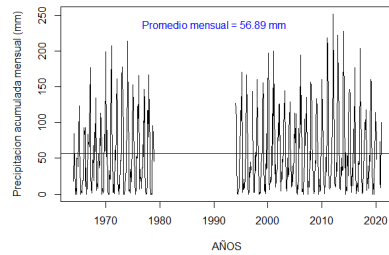




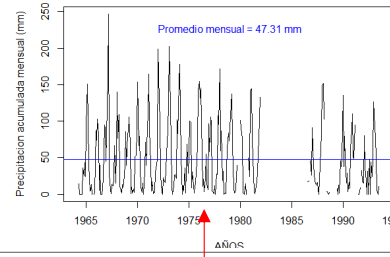


INFORMACION PLUVIOMETRICA DE LAS ESTACIONES CONSIDERADAS PARA EL ESTUDIO

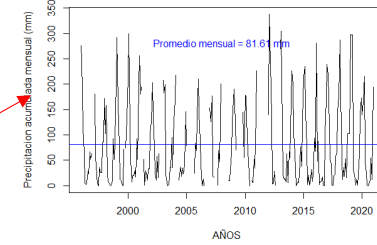
ESTACION ANDAHUAYLAS



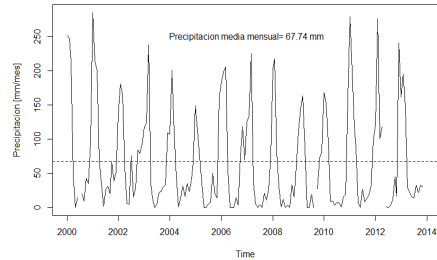
ESTACION ABANCAY-I



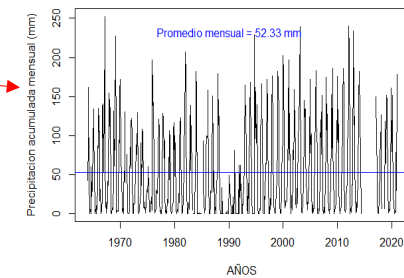
ESTACION ABANCAY-II



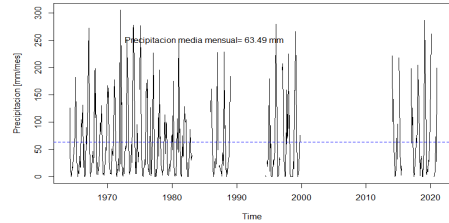
ESTACION CHALHUANCA I



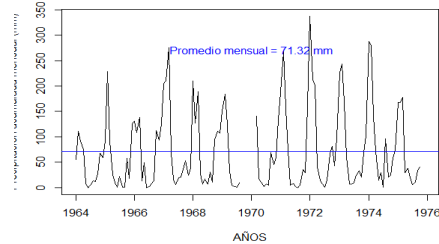
ESTACION CURAHUASI



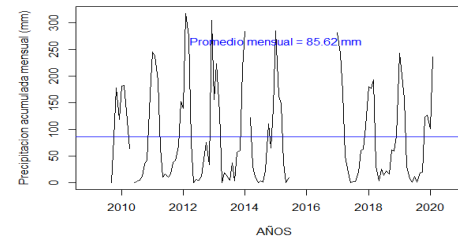
ESTACION CHALHUANCA II



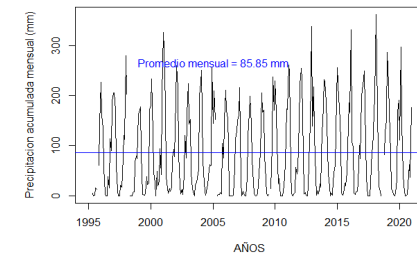
ESTACION ANTABAMBA



ESTACION CURPAHUASI



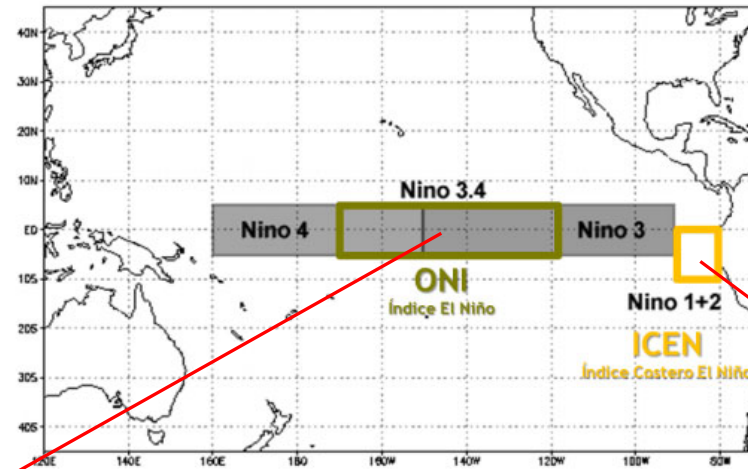
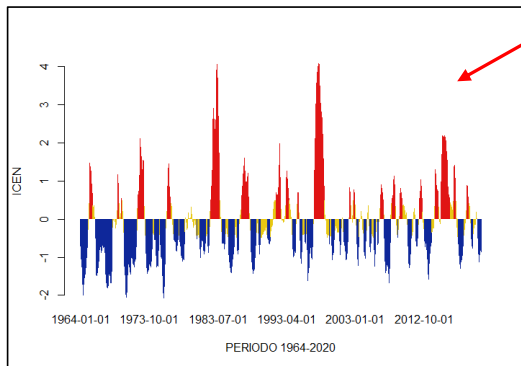
ESTACION TAMBOMBAMBA



INFORMACION DESPONIBLE DE LOS INDICES DE TELECONEXION

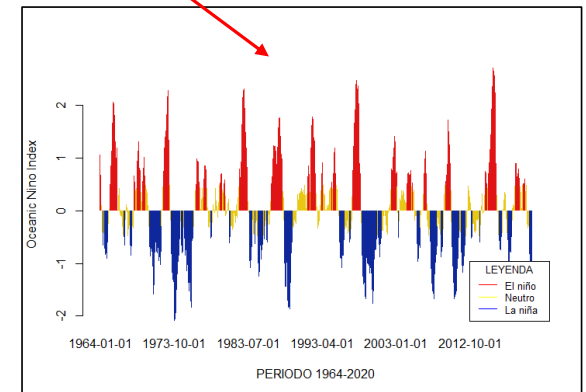
INDICE OCEANICO EL NIÑO

Datos ONI



INDICE COSTERO EL NIÑO

Datos ICEN



PERIODO 1964-2020

ESTACIONES CONSIDERADAS PARA EL ESTUDIO

Tabla 1. Estaciones meteorológicas ubicados en la región Apurímac

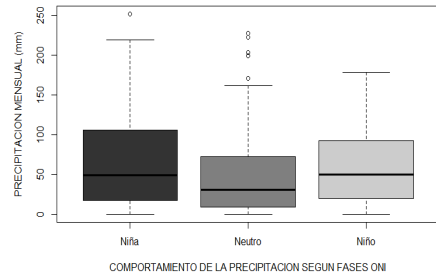
Nombre	Código	Latitud	Longitud	Altitud	Departamento	Provincia	Lugar
Abancay I	000605	13°38'00.0"	72°53'00.0"	2377	Apurímac	Abancay	Patibamba
Abancay II	47263360	13°36'17.7"	72°51'29.9"	2780	Apurímac	Abancay	Tamburco
Andahuaylas	113025	13°38'55.1"	73°22'00.9"	2981	Apurímac	Andahuaylas	San Jerónimo
Antabamba	000748	14°22'00.9"	72°53'01.0"	3639	Apurímac	Antabamba	Antabamba
Chalhuanca I	000747	14°23'00.0"	73°10'00.0"	3558	Apurímac	Aymaraes	Cotarusi-Caraybamba
Chalhuanca II	114117	14°20'00.0"	73°10'00.0"	2850	Apurímac	Aymaraes	Chalhuanca
Curahuasi	113029	13°33'09.4"	72°44'56.0"	2741	Apurímac	Abancay	Curahuasi
Curpahuasi	114108	14°03'46.2"	72°40'00.8"	3535	Apurímac	Graú	Curpahuasi
Tambobamba	113059	13°58'41.7"	72°10'00.0"	3454	Apurímac	Cotabambas	Tambobamba

Fuente: SENAMHI

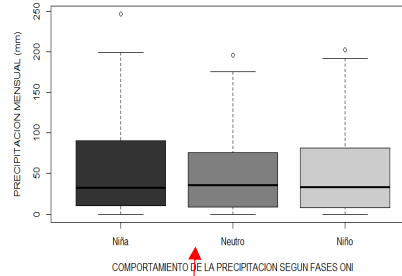


GRUPOS DE PRECIPITACION SEGÚN ONI

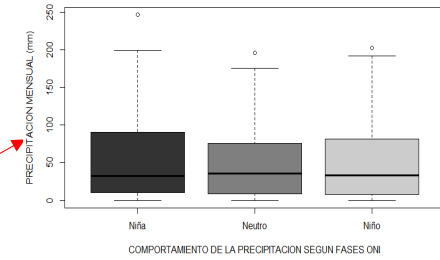
ESTACION ANDAHUAYLAS 1964-2020



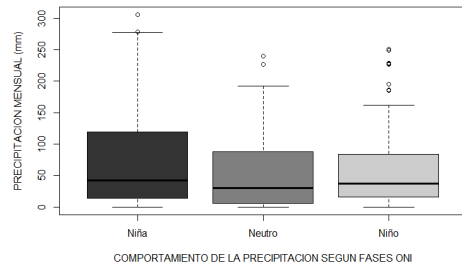
ESTACION ABANCAY I 1964-1993



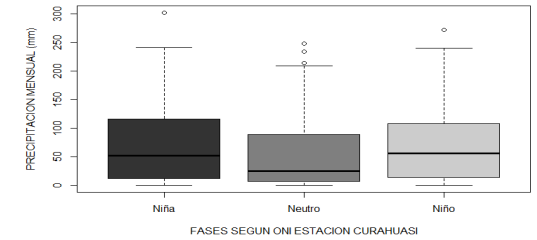
ESTACION ABANCAY I 1964-1993



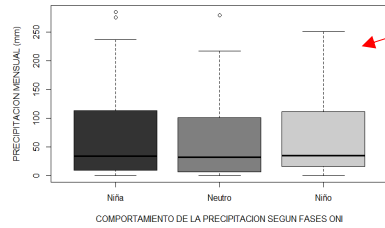
ESTACION CHALHUANCA II 1964-2020



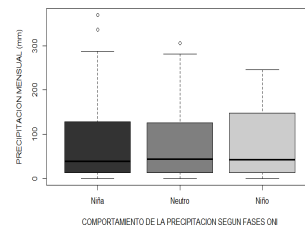
ESTACION CURAHUASI 1964-2020



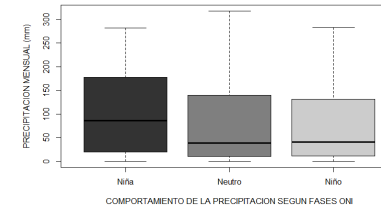
ESTACION CHALHUANCA I 2000-2013



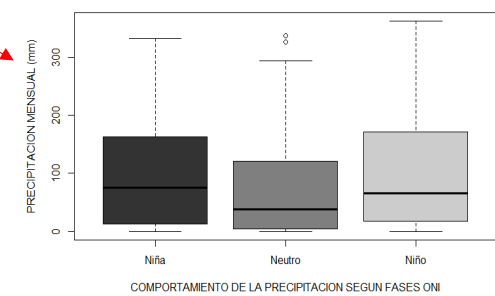
ESTACION ANTABAMBA 1964-1975



ESTACION CURPAHUASI 2009-2020

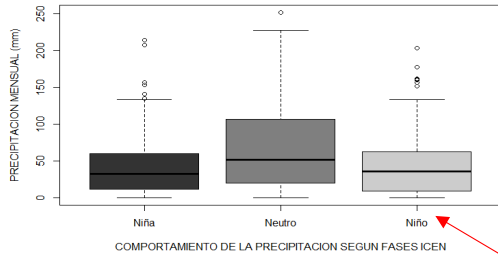


ESTACION TAMBOMBAMBA 1995-2020

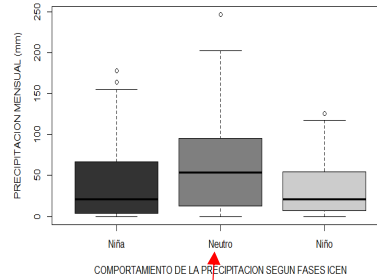


GRUPOS DE PRECIPITACION SEGÚN ICEN

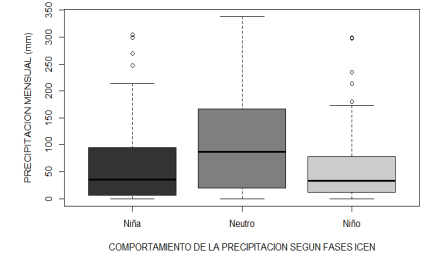
ESTACION ANDAHUAYLAS 1964-2020



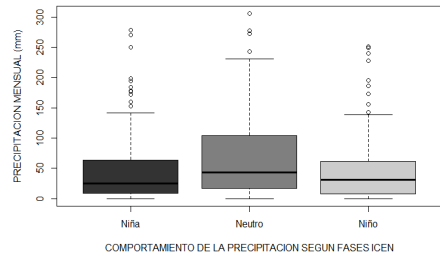
ESTACION ABANCAY I 1964-1993



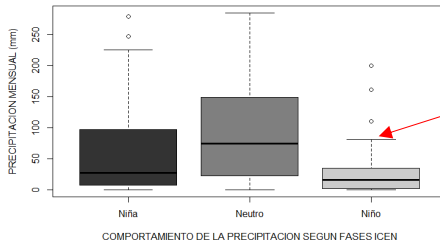
ESTACION ABANCAY II 1996-2020



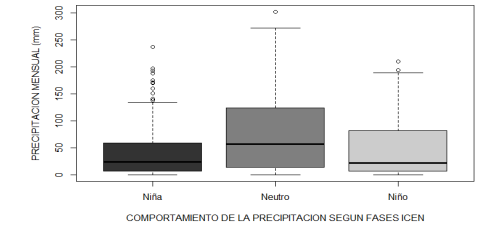
ESTACION CHALHUANCA II 1964-2020



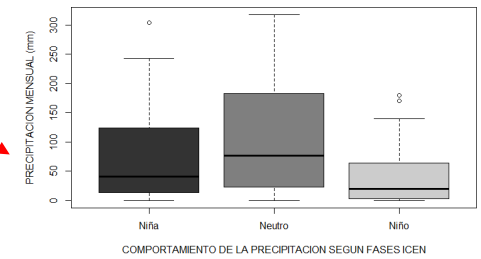
ESTACION CHALHUANCA I 2000-2013



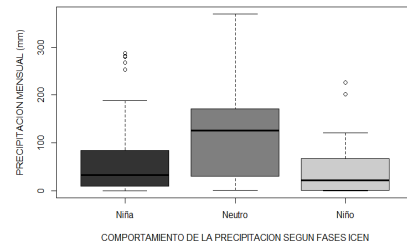
ESTACION CURPAHUASI 1964-2020



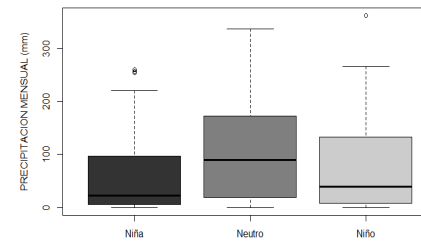
ESTACION CURPAHUASI 2009-2020



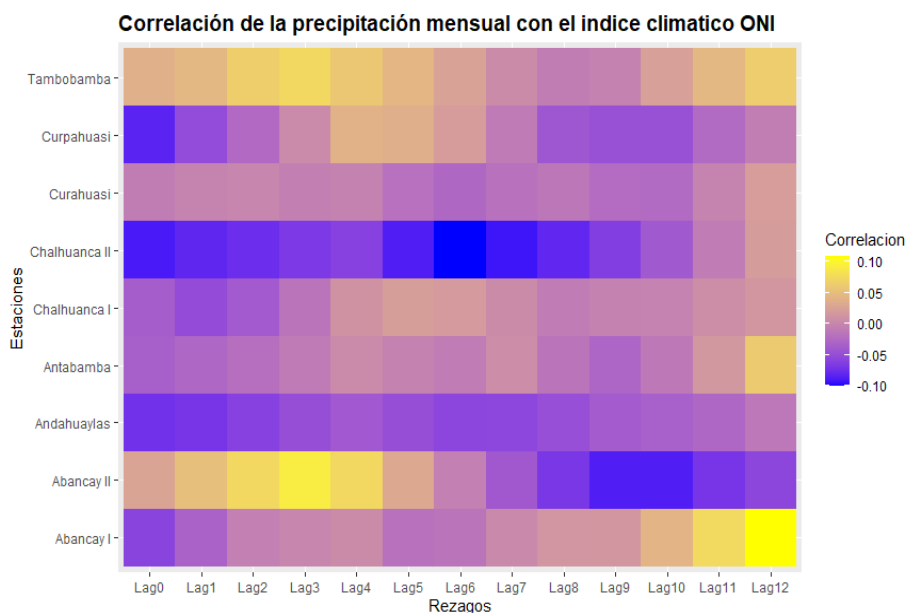
ESTACION ANTABAMBA 1964-1975



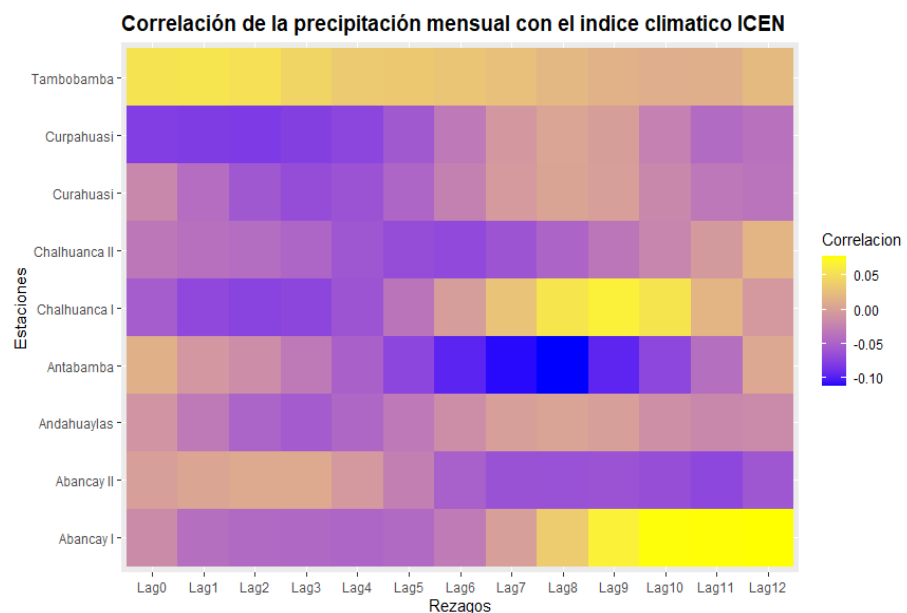
ESTACION TAMBOBAMBA 1995-2020



CORRELACION DE LA PRECIPITACION MENSUAL CON LOS INDICES CLIMATICOS PARA DIFERENTES RETARDOS

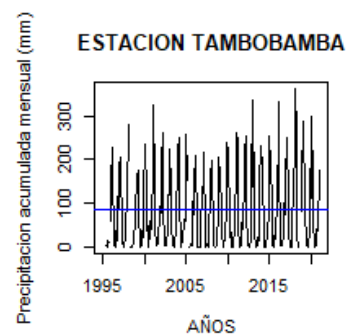
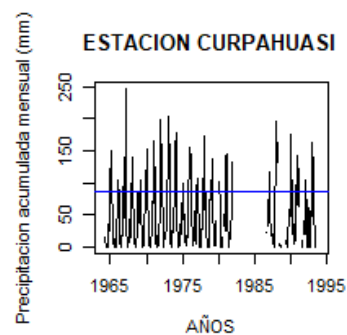
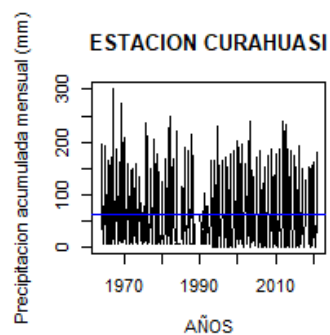
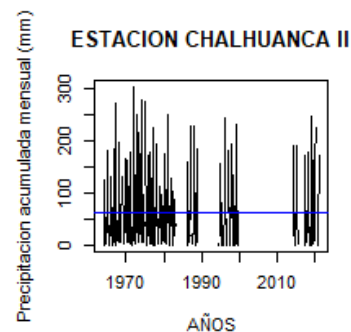
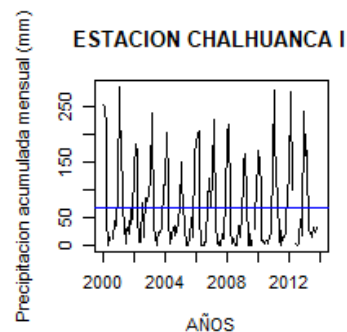
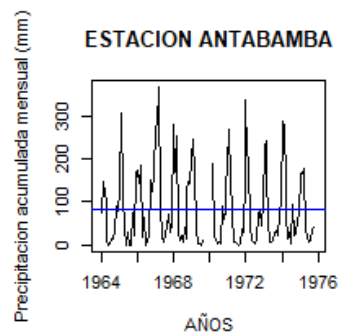
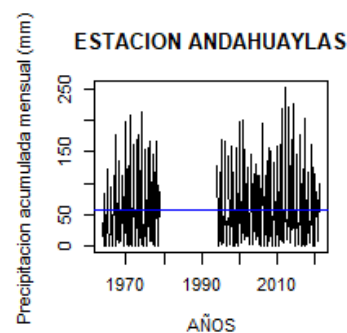
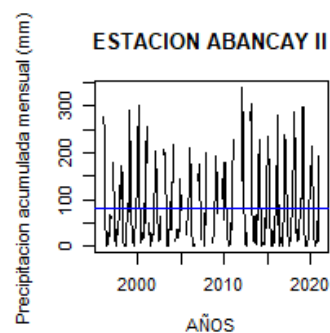
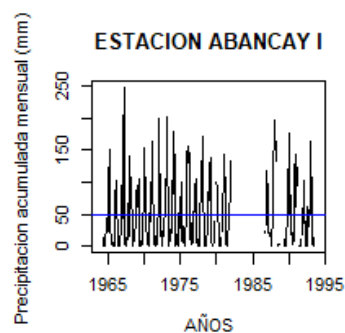


ONI

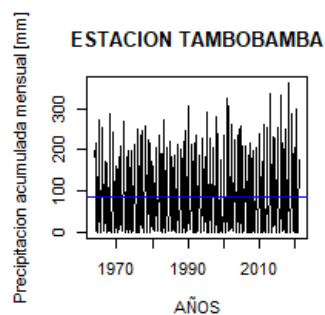
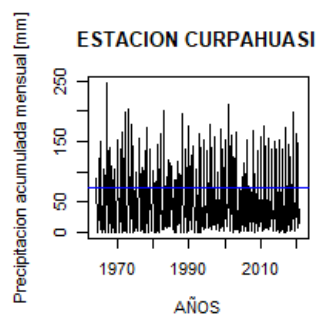
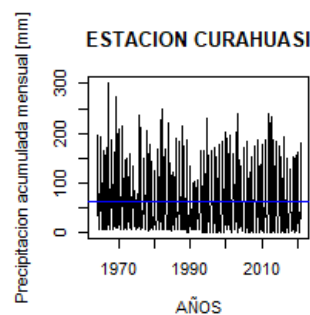
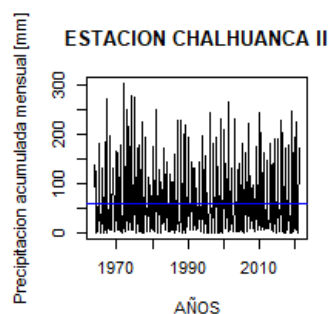
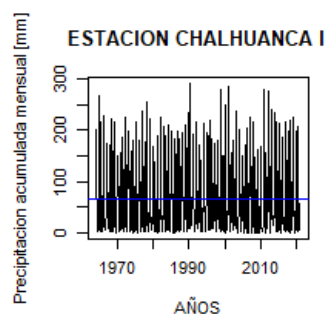
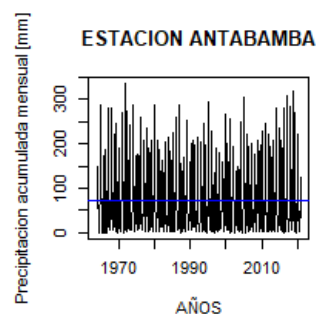
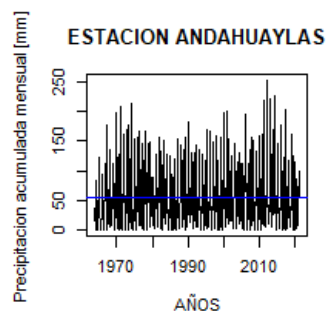
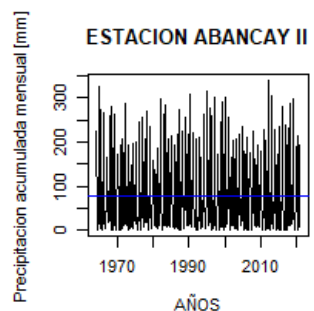
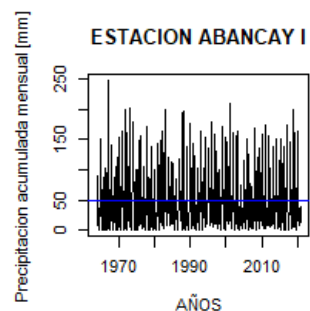


ICEN

SERIES DE PRECIPITACION ACUMULADA MENSUAL INCOMPLETAS

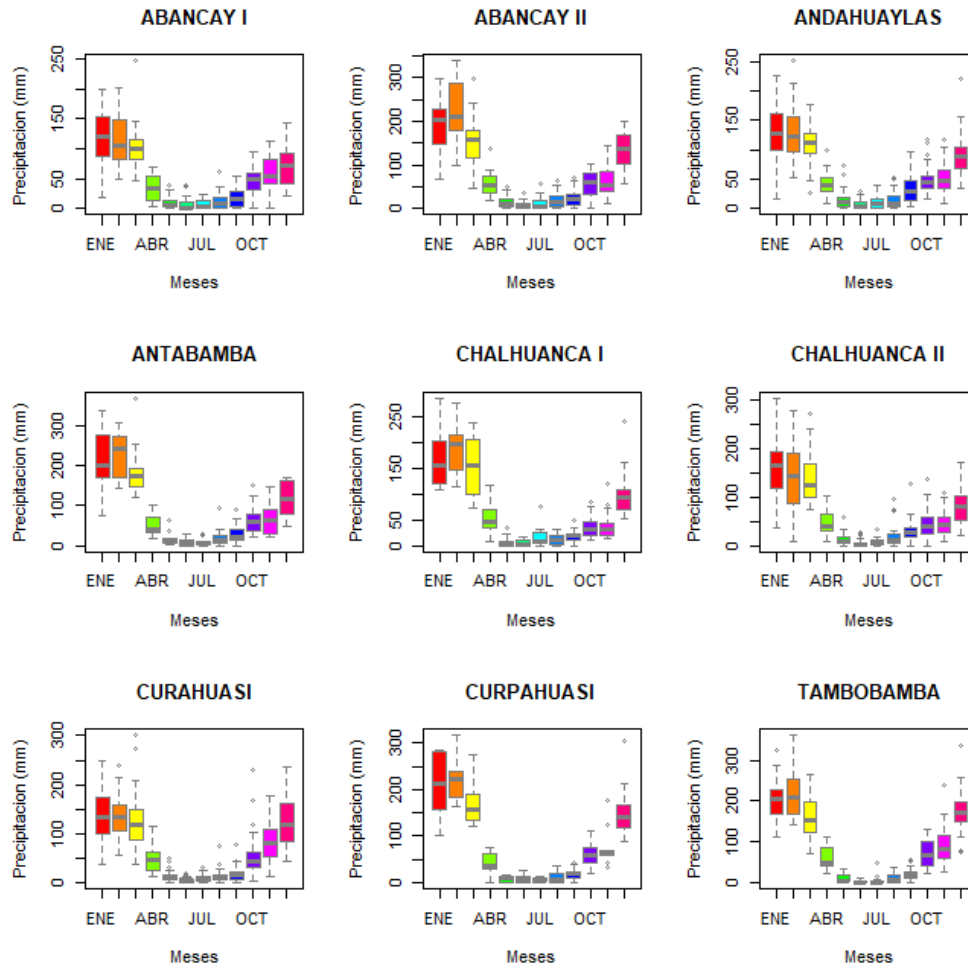


SERIES DE PRECIPITACION ACUMULADA MENSUAL COMPLETADAS Y EXTENDIDAS

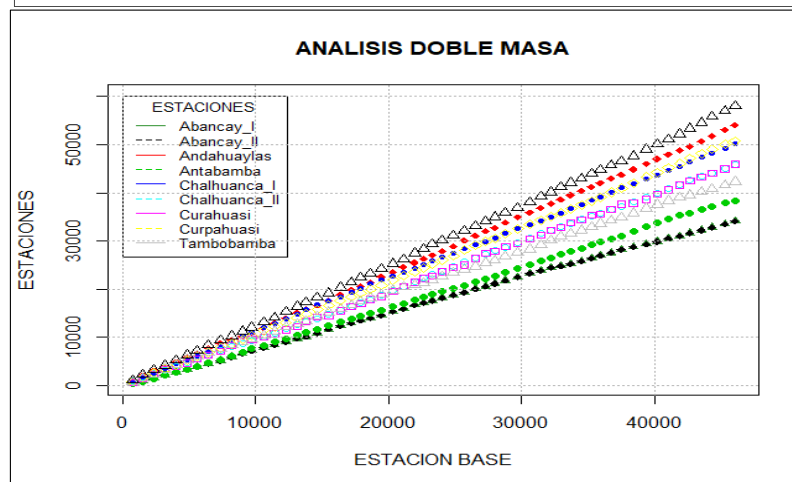
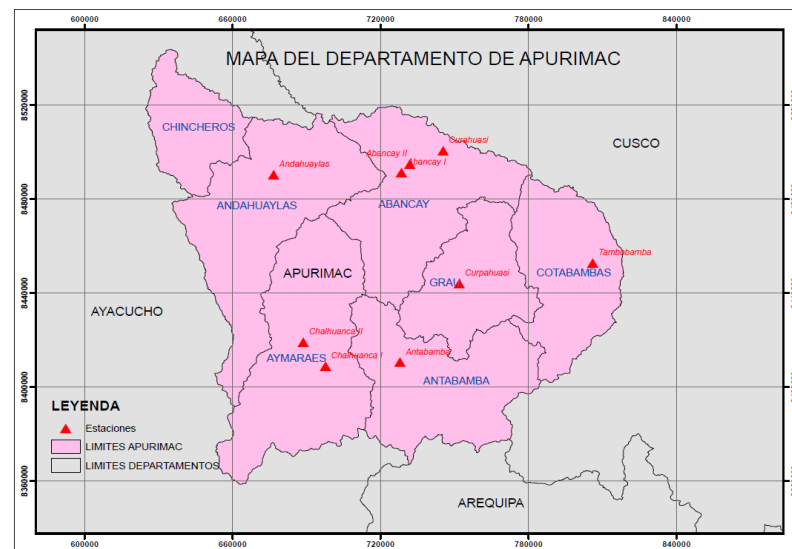
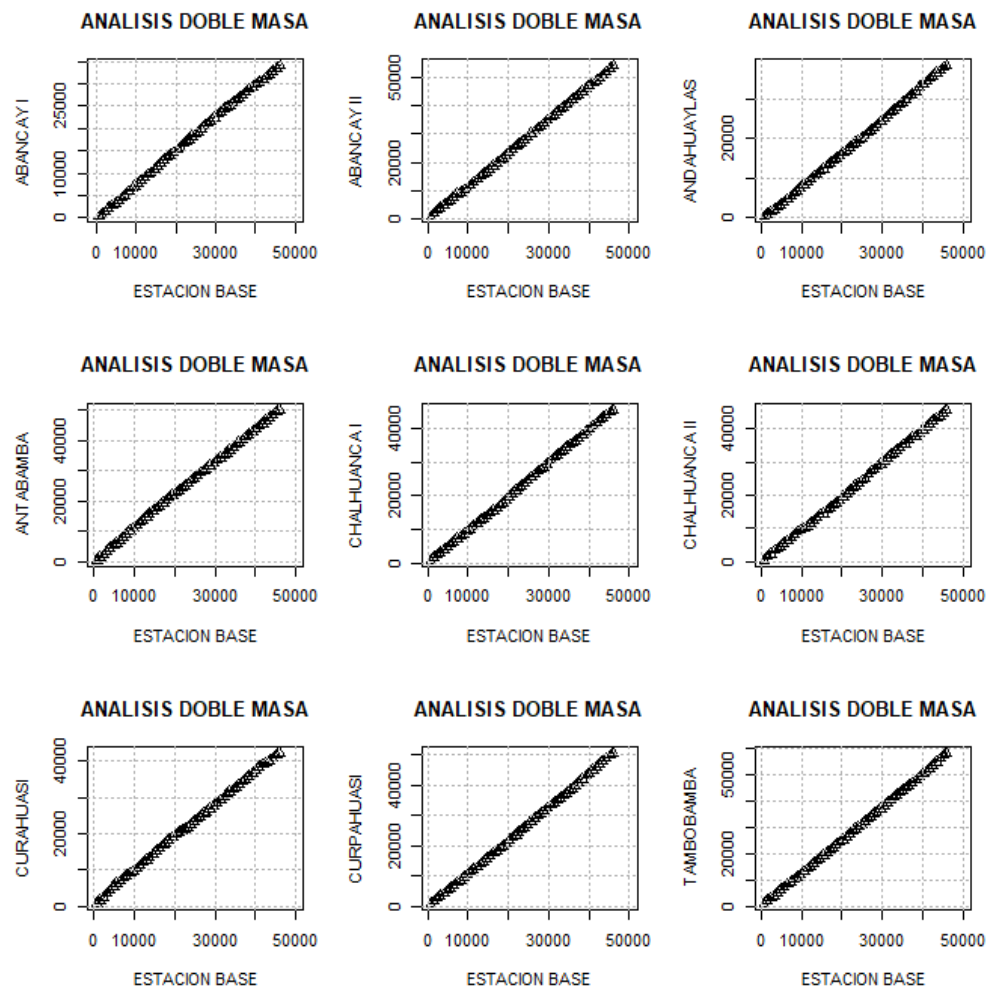


ANALISIS DE ESTACIONARIEDAD

BOX PLOT DE VARIABILIDAD MENSUAL DE LAS SERIES COMPLETAS

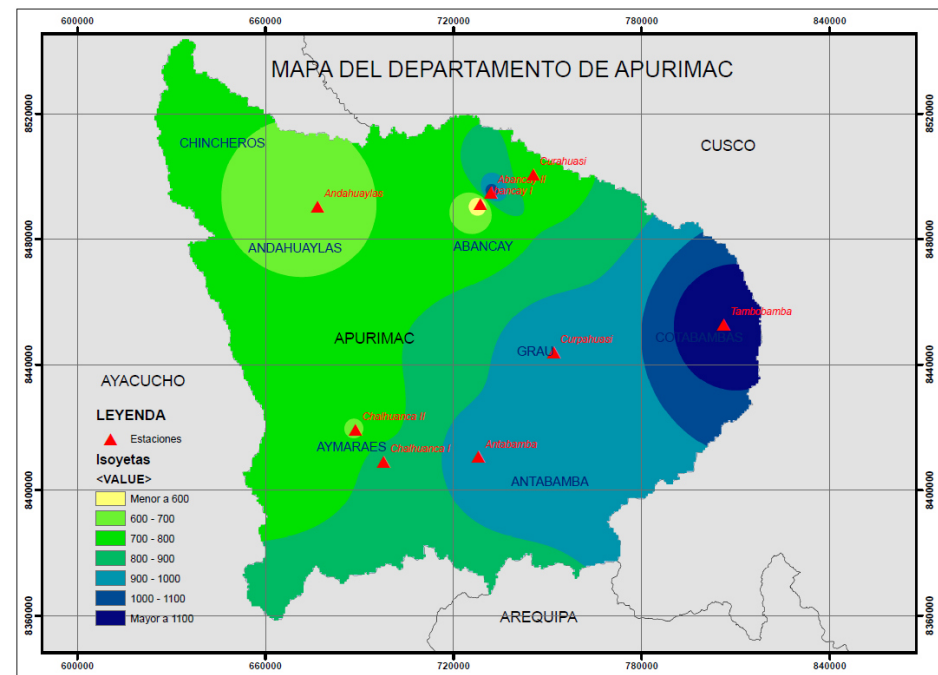


ANALISIS DOBE MASA DE LA PRECIPITACION PERIODO 1964-2020



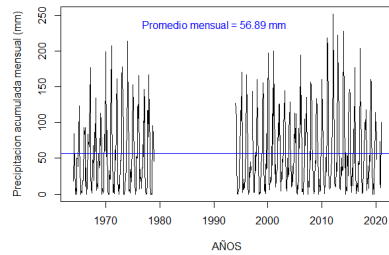
MAPA DE ISOYETAS DE LAS ESTACIONES DE APURIMAC PERIODO 1964-2020

Estacion	Altitud [msnm]	Prec. media multianual [mm]
Abancay I	2377	608.87
Abancay II	2780	947.10
Andahuaylas	2981	673.96
Antabamba	3639	879.55
Chalhuanca	3558	803.56
Chalhuanca II	2850	721.39
Curahuasi	2741	741.59
Curpahuasi	3535	890.25
Tambobamba	3454	1016.98

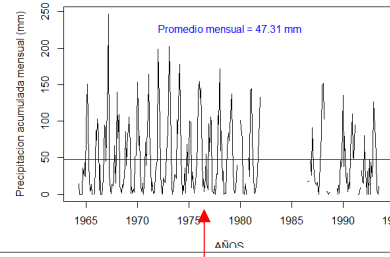


INFORMACION PLUVIOMETRICA DE LAS ESTACIONES CONSIDERADAS PARA EL ESTUDIO

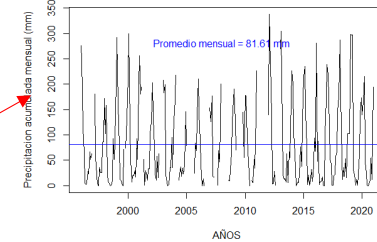
ESTACION ANDAHUAYLAS



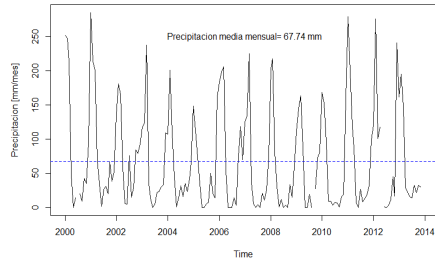
ESTACION ABANCAY-I



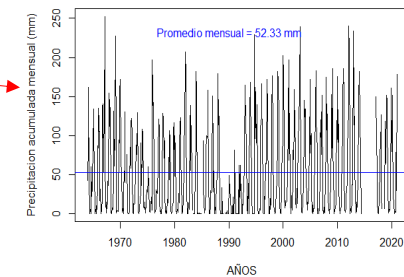
ESTACION ABANCAY-II



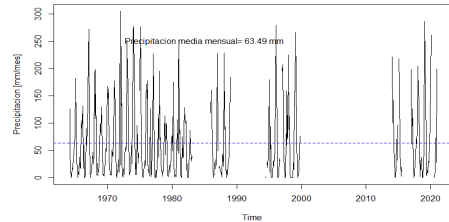
ESTACION CHALHUANCA I



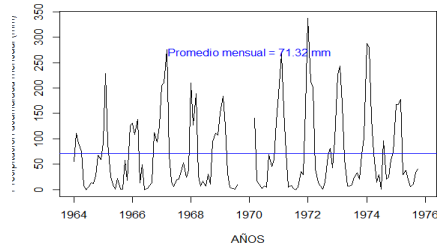
ESTACION CURAHUASI



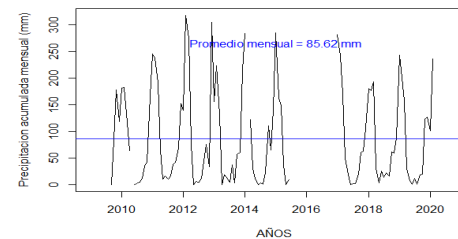
ESTACION CHALHUANCA II



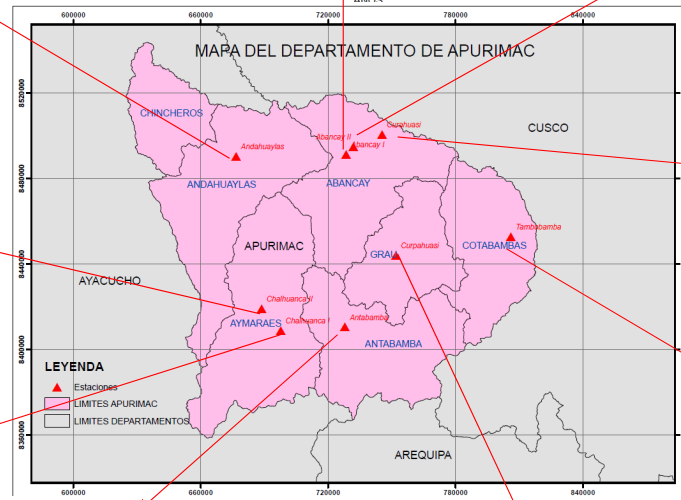
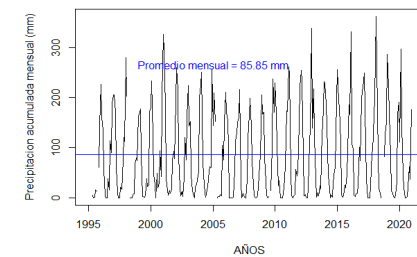
ESTACION ANTABAMBA



ESTACION CURPAHUASI

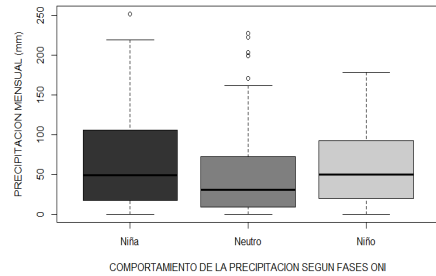


ESTACION TAMBOMBAMBA

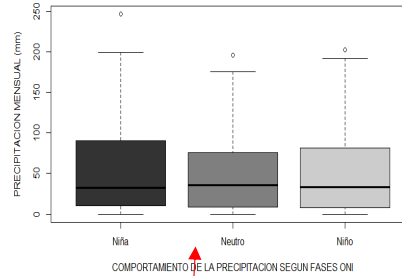


GRUPOS DE PRECIPITACION SEGÚN ONI

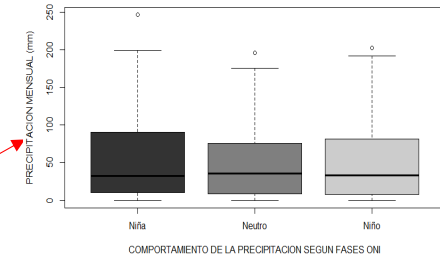
ESTACION ANDAHUAYLAS 1964-2020



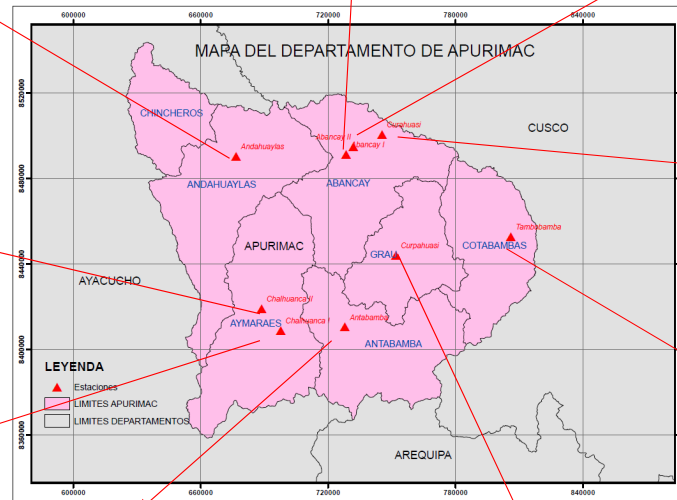
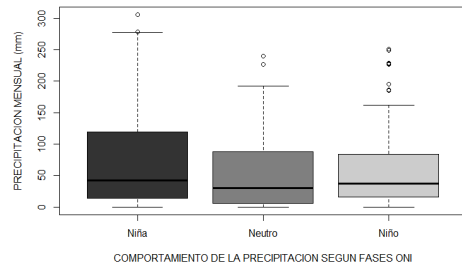
ESTACION ABANCAY I 1964-1993



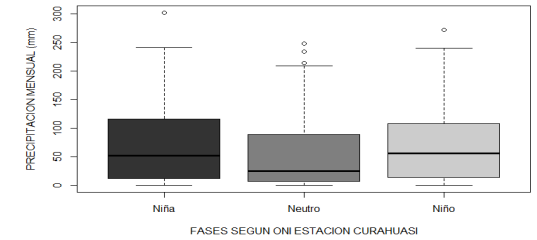
ESTACION ABANCAY I 1964-1993



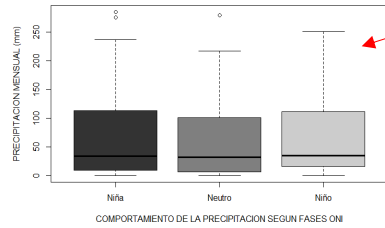
ESTACION CHALHUANCA II 1964-2020



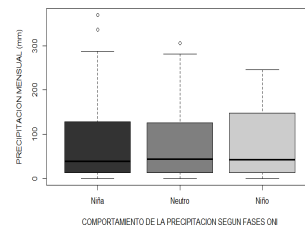
ESTACION CURAHUASI 1964-2020



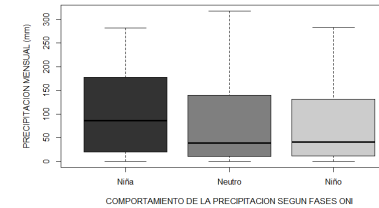
ESTACION CHALHUANCA I 2000-2013



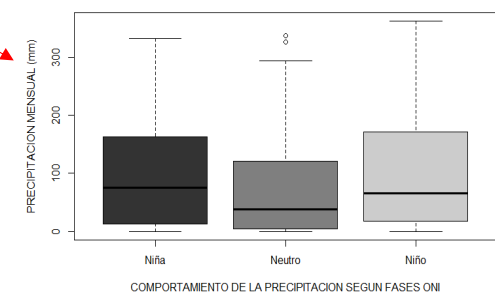
ESTACION ANTABAMBA 1964-1975



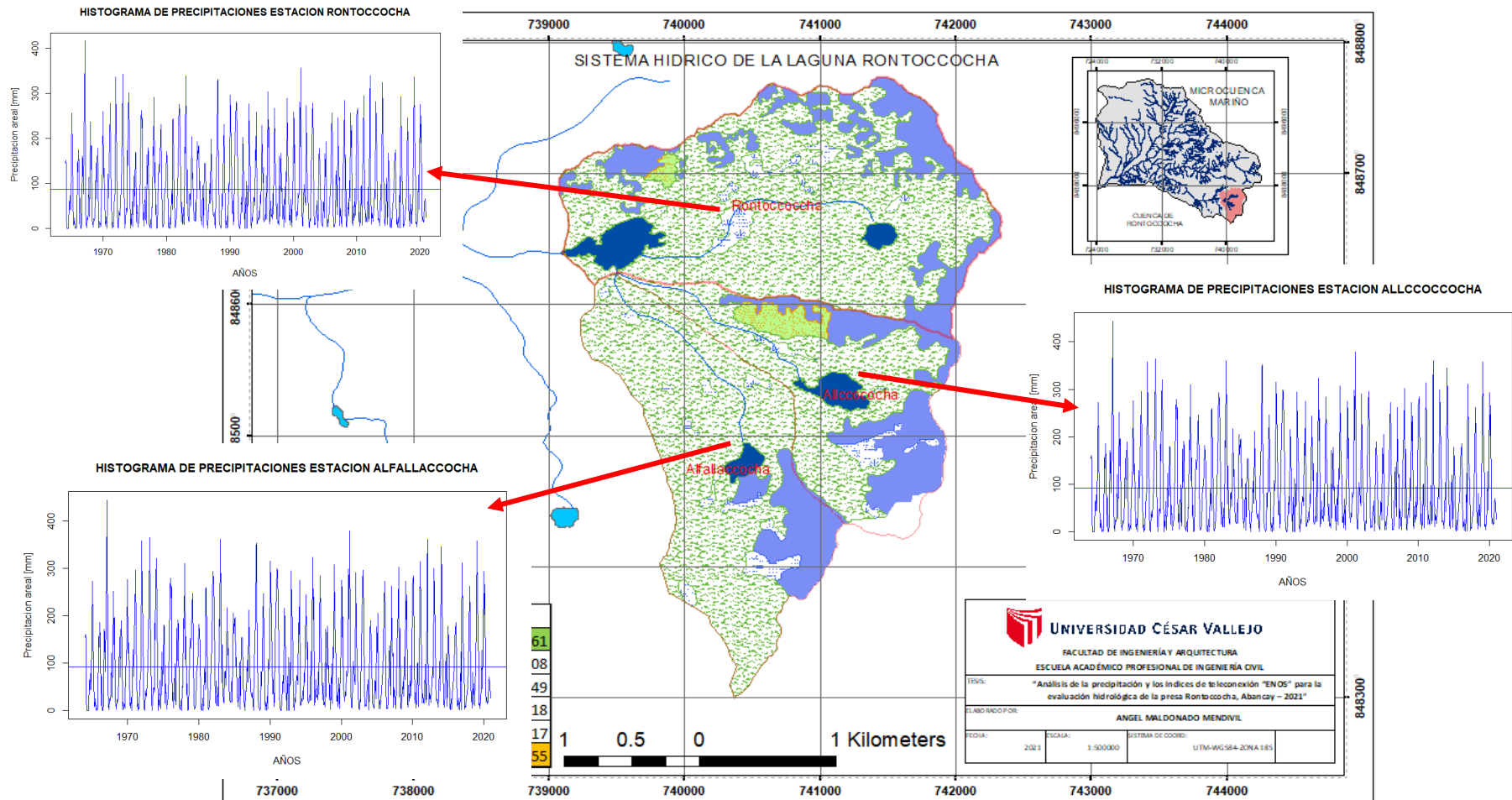
ESTACION CURPAHUASI 2009-2020



ESTACION TAMBOBAMBA 1995-2020



PRECIPITACION AREAL EN LAS ZONAS DE ESTUDIO

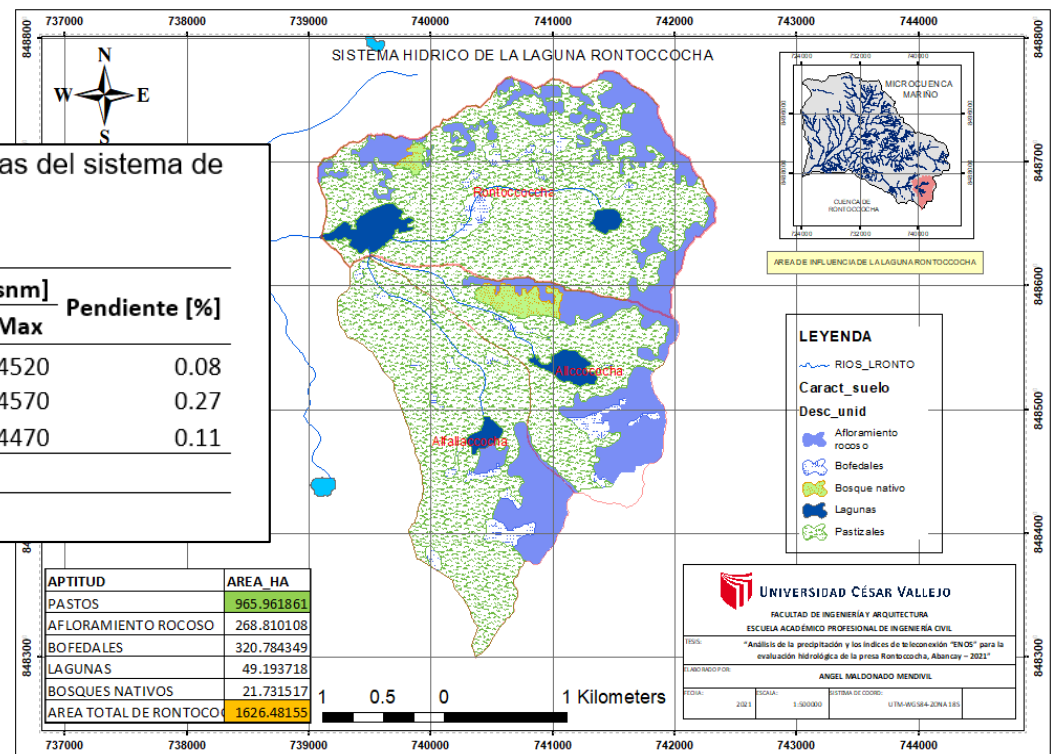


CARACTERISTICAS GEOMORFOLOGICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

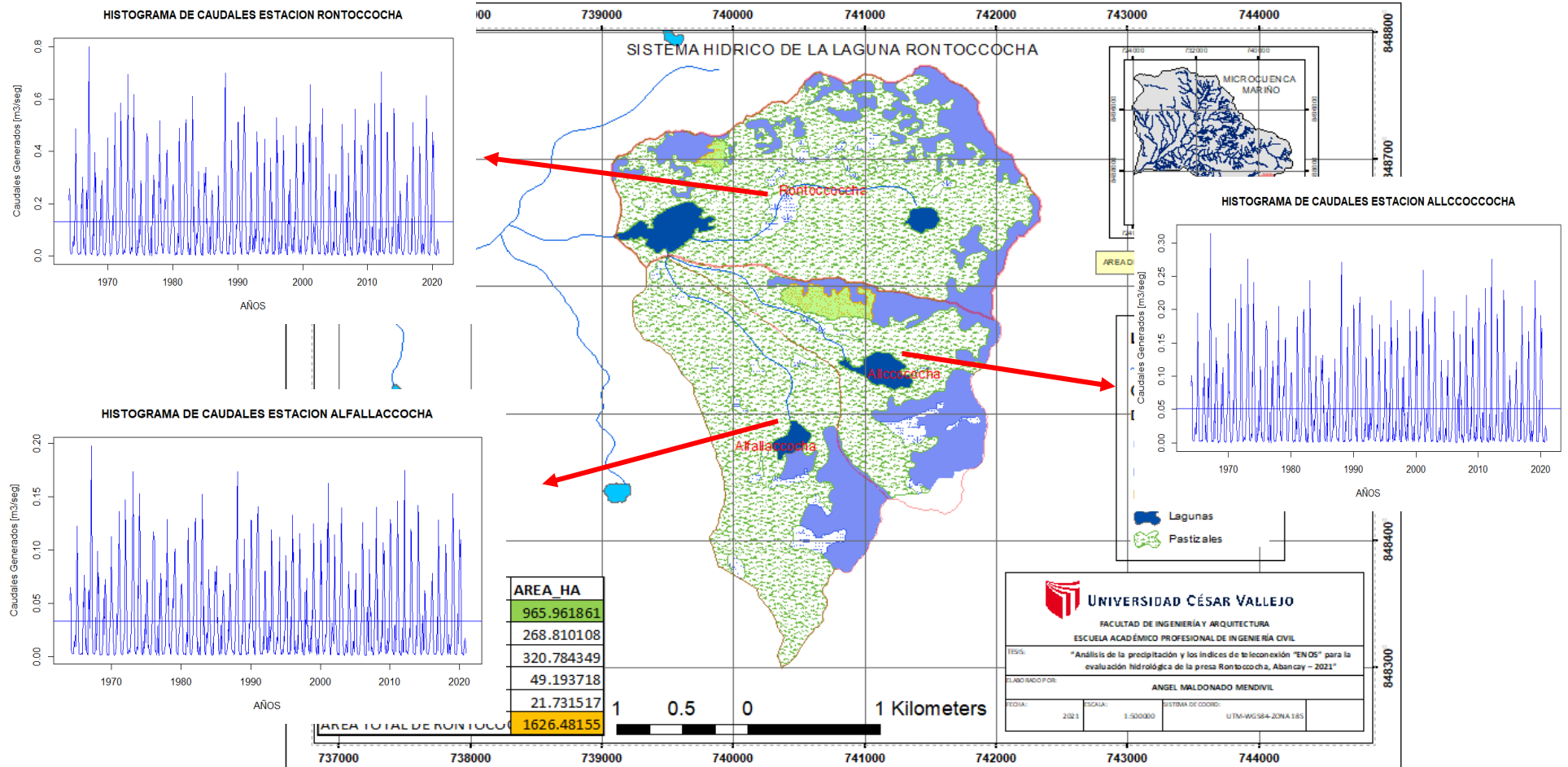
Tabla 21 Cuadro de las características geomorfológicas del sistema de almacenamiento Rontoccocha

Unidad Hidrográfica	Área [Km2]	Perímetro [Km]	Lc[m]	Cota [msnm]		Pendiente [%]
				Min	Max	
Alfallaccocha	6.080	8.458	850.00	4455	4520	0.08
Allcoccocha	1.408	7.705	520.00	4430	4570	0.27
Rontoccocha	1.585	9.214	2030.00	4252	4470	0.11
Total	9.073					

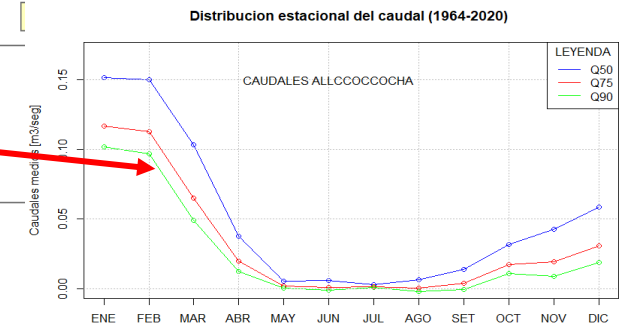
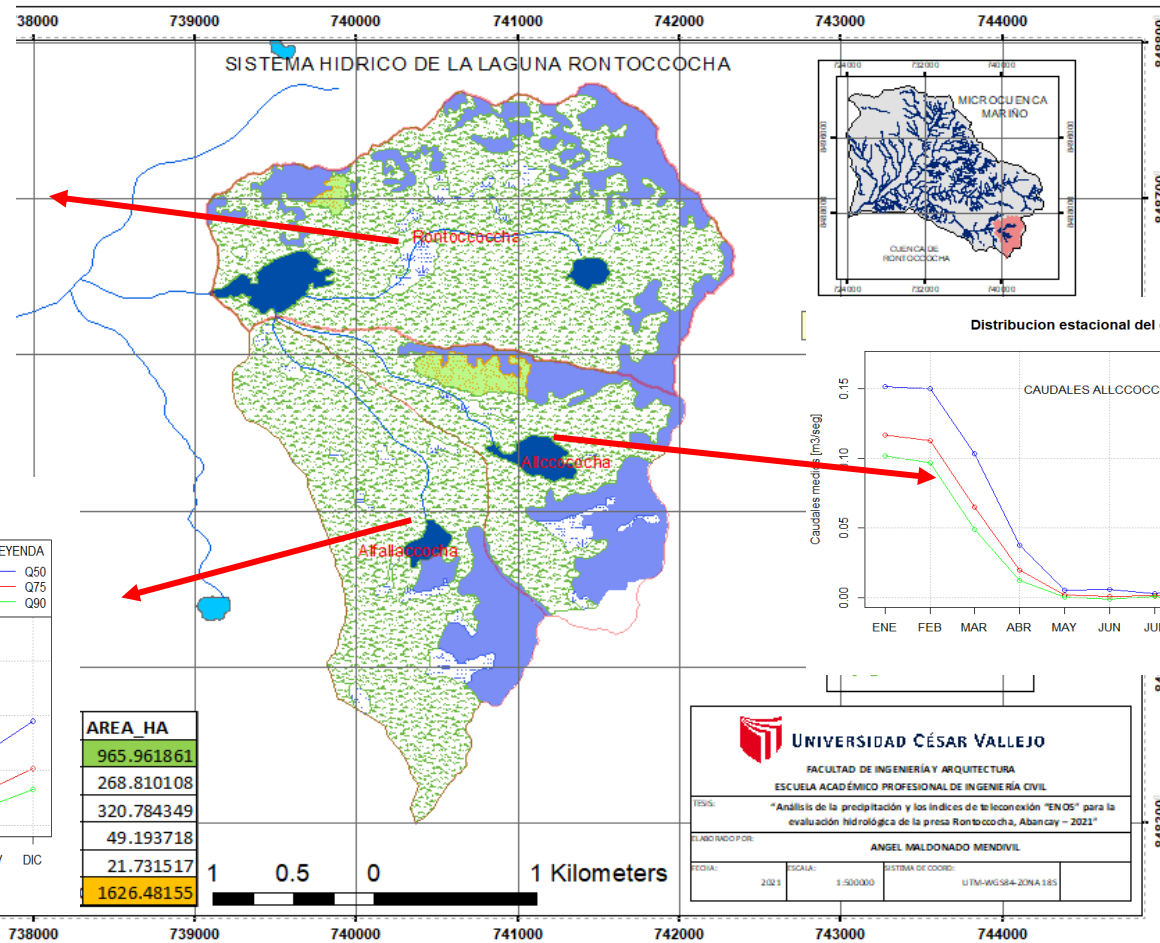
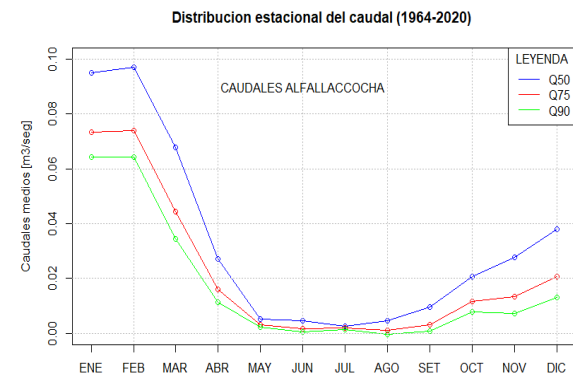
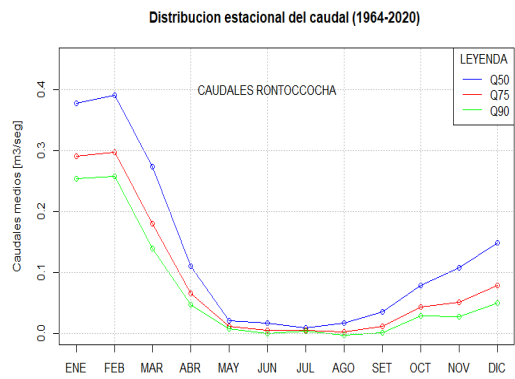
Fuente: elaboración propia



CAUDALES GENERADOS EN LA ZONA DE ESTUDIO (m3)

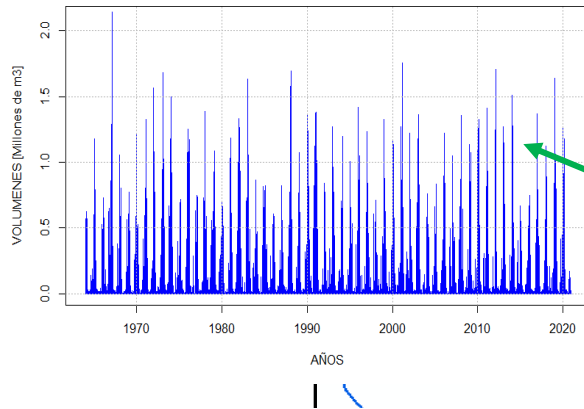


CAUDALES MEDIOS ESTACIONALES GENERADOS EN LA ZONA DE ESTUDIO (m3)

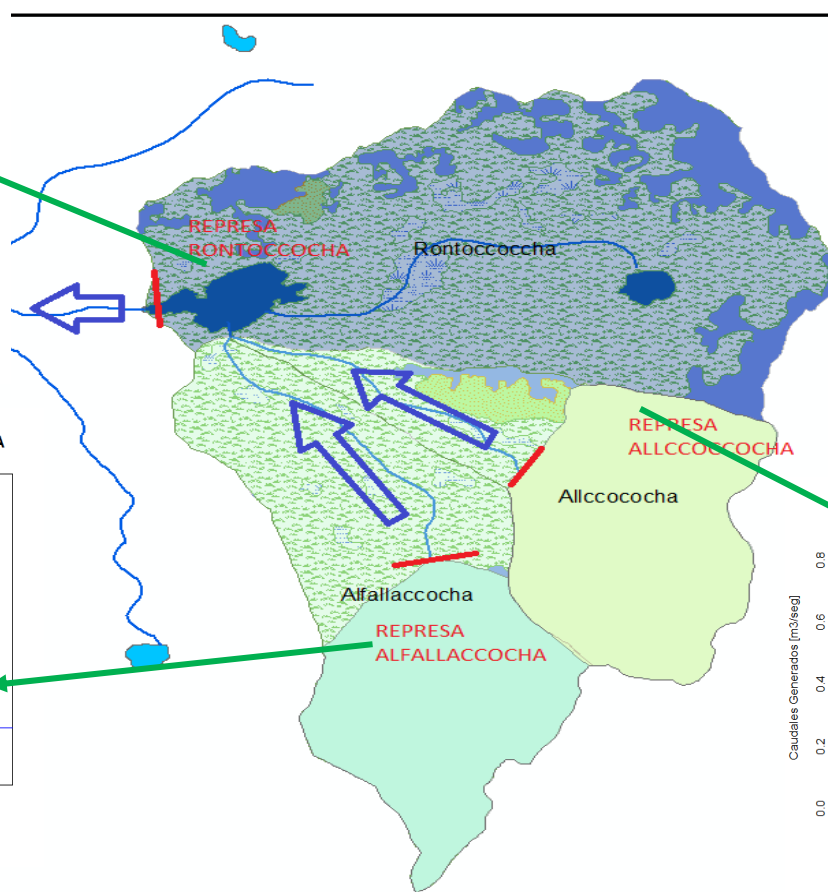
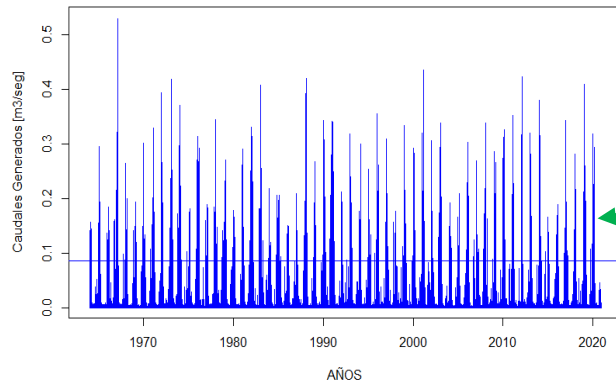


VOLUMENES DE INGRESO GENERADOS EN LA ZONA DE ESTUDIO (m3)

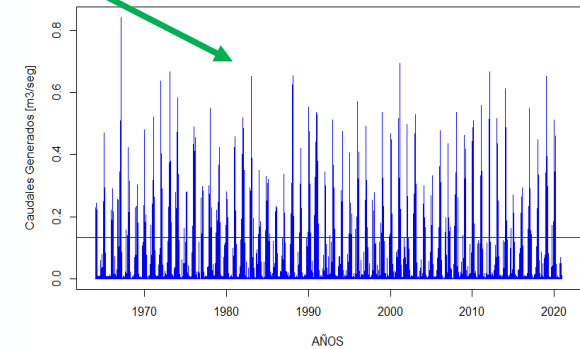
HISTOGRAMA DE VOLUMENES ESTACION RONTOCOCHA



HISTOGRAMA DE VOLUMENES DE INGRESO ESTACION ALFALLACCOCHA



HISTOGRAMA DE VOLUMENES DE INGRESO ESTACION ALLCCOCOCHA

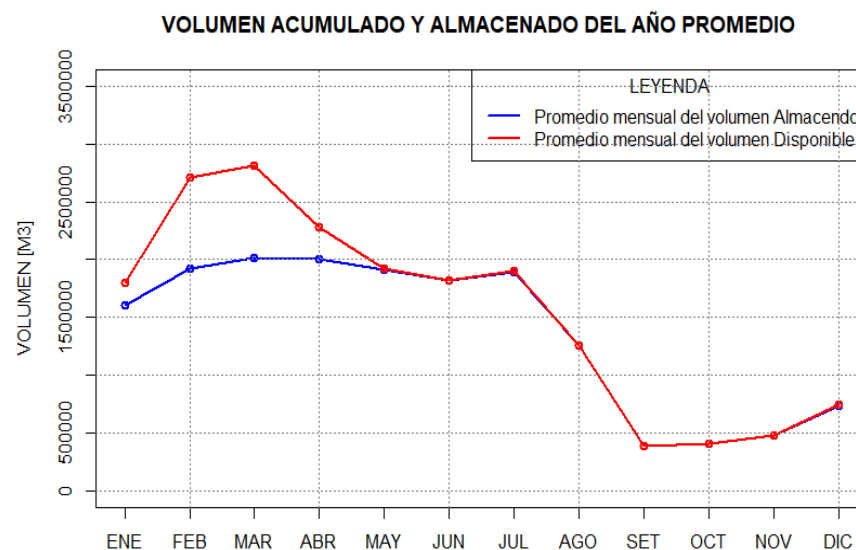


VOLUMEN PROMEDIO DISPONIBLE Y ALMACENADO

Tabla N° 8.23. Volumen promedio disponible y Volumen promedio almacenado

Mes	Volumen promedio mensual disponible	Volumen promedio mensual almacenado	% Aprovechamiento
Ene	1,802,143.78	1,606,764.00	89.16%
Feb	2,706,285.43	1,918,109.30	70.88%
Mar	2,816,540.95	2,013,677.50	71.49%
Abr	2,279,338.50	2,005,708.70	88.00%
May	1,919,339.40	1,915,199.00	99.78%
Jun	1,825,405.25	1,824,598.60	99.96%
Jul	1,900,305.89	1,894,223.20	99.68%
Ago	1,258,053.90	1,258,053.90	100.00%
Sep	386,370.60	386,370.60	100.00%
Oct	405,949.80	405,949.80	100.00%
Nov	477,669.70	477,669.70	100.00%
Dic	738,873.90	738,873.90	100.00%

2'401,077.16 1'886,064.87



INDICADORES DE PERFORMANCE

Tabla N 50. Indicadores

Indicador	Variable	%	Observación
Déficit de agua potable y riego mensual	I DRM	0.292	La demanda es coberturada durante 682 meses de 684 meses de operación
Déficit en cobertura del Caudal ecológico	I QE	0.292	El flujo de caudal ecológico es coberturado en 682 meses de 684 meses de operación
Llenado del embalse (recuperación NAMO)	I RNLA	1.000	El 75 % de los años el embalse Rontoccocha alcanza el nivel de NAMO (es decir se llena)

El déficit de la cobertura de la demanda (agua potable y riego) y flujo de caudal ecológico indica valores por debajo de los promedios aceptables (10%), garantizando el recurso hídrico al 99.708% del periodo de operación (684 meses).

El índice de recuperación de niveles en la laguna es de 75%, indicándose que la laguna recuperará su nivel ordinario de operación en 43 años de los 57 años de operación.

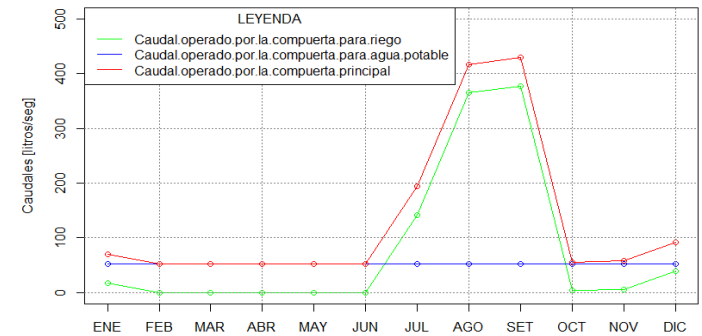
OPERACIÓN DE CAUDALES EN LA COMPUERTA DE LA PRESA (m3)

DEMANDA DE AGUA PARA AGUA POTABLE Y RIEGO (m3)

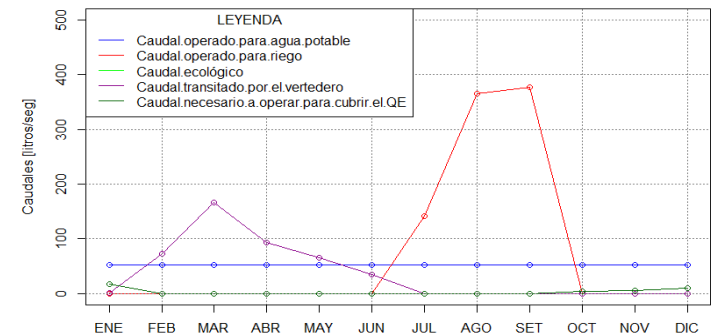
Tabla N 51. Caudales medios mensuales a ser operados en compuerta principal, compuerta para riego y válvula de compuerta para agua potable

Mes	Caudal operado para agua potable	Caudal operado para riego	Caudal ecológico	Caudal transitado por el vertedero	Caudal necesario a operar para cubrir el Q _E	Caudal operado por la compuerta para riego	Caudal operado por la compuerta para agua potable	Caudal operado por la compuerta principal
	[l/s]	[l/s]	[l/s]	[l/s]	[l/s]	[l/s]	[l/s]	[l/s]
Ene	52.00		20.00	2.00	18.00	18.00	52.00	70.00
Feb	52.00		24.00	73.00			52.00	52.00
Mar	52.00		22.00	166.00			52.00	52.00
Abr	52.00		12.00	93.00			52.00	52.00
May	52.00		9.00	65.00			52.00	52.00
Jun	52.00		7.00	35.00			52.00	52.00
Jul	52.00	142.00	5.00			142.00	52.00	194.00
Ago	52.00	365.00	4.00	0.00		365.00	52.00	417.00
Sep	52.00	376.50	3.00	0.00		376.50	52.00	429.00
Oct	52.00		4.00	0.00	4.00	4.00	52.00	56.00
Nov	52.00		6.00	0.00	6.00	6.00	52.00	58.00
Dic	52.00		10.00	0.00	10.00	40.00	52.00	92.00

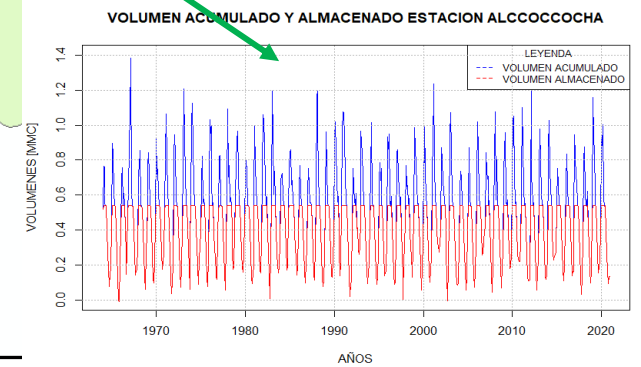
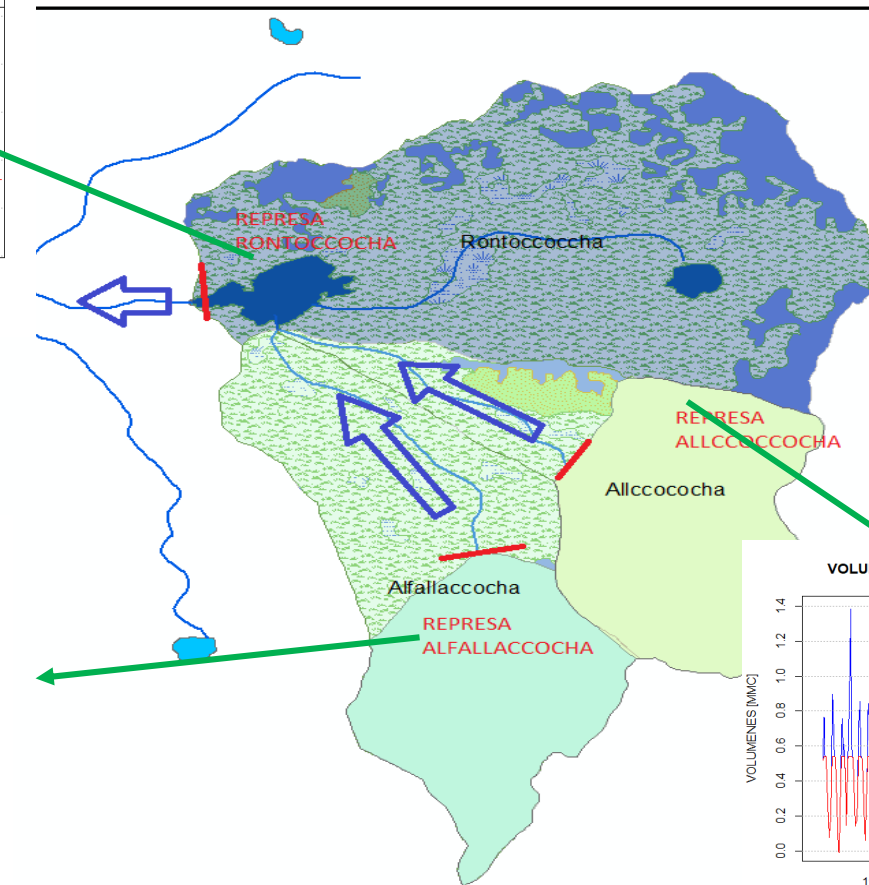
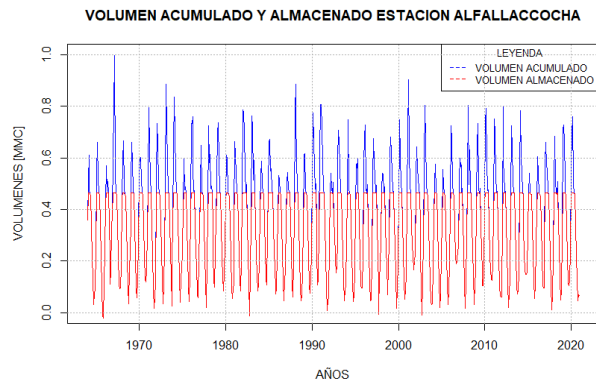
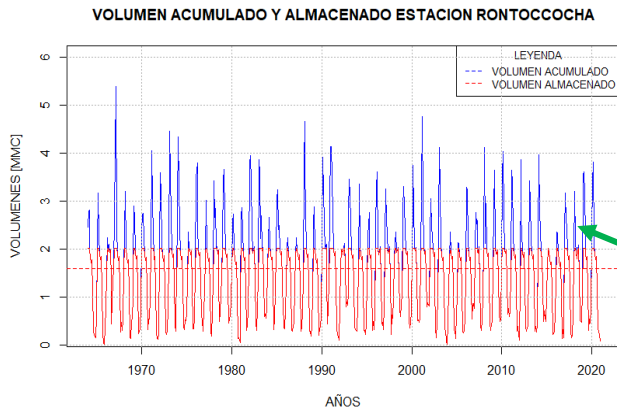
CAUDALES DE OPERACION DE COMPUERTAS EMBALSE RONTOCOCHA



CAUDALES DE OPERACION EMBALSE RONTOCOCHA



SIMULACION DE OPERACIÓN DE EMBALSES (m3)



SIMULACION DE OPERACIÓN PRESA RONTOCOCHA (m3)

